



Universidade de Aveiro
2008

Departamento de Ambiente e
Ordenamento

**Maria do Rosário
Vieira Gomes**

**Contribuição para a gestão sustentável de
resíduos sólidos na Região Centro**



Universidade de Aveiro
2008

Departamento de Ambiente e
Ordenamento

**Maria do Rosário
Vieira Gomes**

**Contribuição para a gestão sustentável de
resíduos sólidos na Região Centro**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

ERRATA

Título do trabalho: Contribuição para a gestão sustentável de resíduos sólidos da Região Centro

Autor: Rosário Gomes

Página	Linha/Ilustração	Onde se lê	Deve ler-se
xi	10	Sistema municipal	Sistema multimunicipal
xii	32	Sistema municipal	Sistema multimunicipal
xii	40	Sistema municipal	Sistema multimunicipal
xii	42	Sistema municipal	Sistema multimunicipal
xii	43	Sistema municipal	Sistema multimunicipal
10	11	2008	2009
10	11	35% a partir de 2015	65% a partir de 2016
11	18	Ferramentas de apoio	Metodologias de apoio
66	12	cenário 2	cenário 1
73	Tabela 4.19	[ton CO ₂ equiv.ano ⁻¹]	[ton CO ₂ equiv.ton ⁻¹]
73	Tabela 4.19	[ton SO ₂ equiv.ano ⁻¹]	[ton SO ₂ equiv.ton ⁻¹]
73	Tabela 4.19	[ton PO ₄ ³⁻ equiv.ano ⁻¹]	[ton PO ₄ ³⁻ equiv.ton ⁻¹]
73	Tabela 4.19	TH [ton tecido.ano ⁻¹]	TH
73	Tabela 4.19	HCA	HCA [ton.ton ⁻¹]
73	Tabela 4.19	HCW	HCW [ton.ton ⁻¹]
73	Tabela 4.19	ECA [m ³ água poluída.ano ⁻¹]	ECA [m ³ .ton ⁻¹]
115	Tabela H.1	Substâncias presentes em cada cenário para a categoria de impacto ambiental em cada cenário	Substâncias presentes para a categoria de impacto ambiental em cada cenário [ton tecido contaminado.ano ⁻¹]

O júri

Presidente

Luís António da Cruz Tarelho, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Vogal

Manuel Arlindo Amador de Matos, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (Orientador).

Vogal

Maria da Graça Madeira Martinho, Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Agradecimentos

Aos meus pais, por me terem apoiado sempre que precisei e me deram condições para prosseguir com a minha formação académica, por vezes a muito custo.

À minha restante família por todo o apoio e carinho demonstrado, e ajuda no decorrer deste trabalho.

Ao Prof. Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, pela orientação, acompanhamento, apoio e paciência ao longo de todo o trabalho.

Aos meus amigos e namorado, que me acompanharam e proporcionaram grandes momentos ao longo de toda o percurso universitário.

palavras-chave

Gestão sustentável de resíduos, Análise de Ciclo de Vida, aplicação Umberto, resíduos urbanos, resíduos industriais não perigosos, valorização energética de resíduos

resumo

O presente trabalho pretendeu desenvolver um sistema de gestão sustentável de resíduos sólidos na Região Centro, mais especificamente os resíduos urbanos (RU) e os resíduos industriais não perigosos (RINP).

Para o efeito, foi definida uma metodologia de inventário determinando as quantidades de resíduos urbanos e industriais, tendo particular atenção para os resíduos susceptíveis de valorização energética.

O trabalho desenvolvido teve em vista a avaliação a nível ambiental de diferentes modelos de gestão. Para tal, foi efectuado um levantamento da situação existente na região em estudo, ao nível das quantidades e tipologias de resíduos e dos sistemas de gestão actuais.

O estudo foi realizado considerando vários modelos de gestão (cenários). Para os resíduos urbanos foram definidos três cenários: o cenário 1, que representa a situação actual, onde a maioria dos resíduos são eliminados em aterro, o cenário 2, onde se tentou representar o modelo PERSU II e o cenário 3, que representa um modelo alternativo onde é dado destaque à incineração. Para os resíduos industriais não perigosos foram definidos os seguintes cenários: cenário #1, que representa a situação actual, onde todos os resíduos são eliminados em aterro e o cenário #2, onde foram seleccionados os resíduos com interesse para valorização energética, que seriam tratados por incineração, sendo os restantes depositados em aterro.

A análise ambiental dos referidos cenários foi realizada com a aplicação Umberto de análise fluxo de materiais, cujos resultados referentes a análise de inventário de materiais e energia foram posteriormente tratados com o auxílio da ferramenta Excel, do Microsoft Office.

No que concerne à avaliação global dos impactes ambientais pode concluir-se que são os cenários 1 e #1 que apresentam os resultados mais favoráveis. No que diz respeito à produção de energia eléctrica são os cenários propostos 3 e #2 que apresentam maiores quantidades de electricidade produzida. Em relação aos combustíveis consumidos para os RU é o cenário 1 o mais favorável e, ao passo que para os RINP é o cenário #2.

keywords

Sustainable waste management, Life Cycle Assessment, Umberto software, municipal waste, non hazardous industrial waste, waste-to-energy,

abstract

This study attempted to develop a sustainable solid waste management system in the Centre Region of Portugal, especially the municipal solid waste (MSW) and non hazardous industrial waste (NHIW).

To achieve it, an inventory methodology was defined that determined the amount of municipal and industrial solid waste, giving special attention to waste-to-energy.

The work was developed in order to assess different management models, environmentally speaking. For that, it was based on a survey on the current situation in the region in question, namely in the quantity and type of the waste and the current management systems in action.

The study was made considering several management models (scenarios). For municipal waste were defined three scenarios: scenario 1, which represents the current situation, where the majority of the waste is eliminated in landfill, scenario 2, where the PERSU II model was tried to be represented and scenario 3, which represents the alternative model, where is given emphasis to incineration. On his turn, for non hazardous industrial waste were defined the following scenarios: scenario #1, that represents the current situation, where all the waste is eliminated in landfill and scenario #2, where the waste was selected considering its high calorific value, that would be treated by incineration, being the remains disposed in landfill.

The environmental analyses was carried through with the material flow analyses Umberto software, which results that refer to the material and energy inventory analyses To obtain the inventory of waste it was used the software Umberto, whose data was later treated with the help of the tool Excel, from Microsoft Office.

What it concerns to the global assessment of environmental impact, it is possible to conclude scenarios 1 and #1 present more favourable results. In respect to the production of electric energy, it was seen that the proposed scenarios 3 and #2 are those that presents greatest amounts of electricity produced. Speaking in consumed fuel for the MSW is the scenario 1 the more favourable, in contrast to the NHIW is the scenario #2.

Índice

Índice.....	i
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	vii
Lista de Abreviaturas	xi
Nomenclatura	xiii
Definições.....	xv
1 Introdução.....	18
1.1 Resíduos urbanos (RU).....	18
1.1.1 Definição de RU e sua composição.....	19
1.1.2 Propriedades dos RU	19
1.2 Resíduos industriais (RI)	20
1.2.1 Definição de RI e sua composição.....	20
1.3 Aspectos legais da gestão de resíduos	21
1.4 Operações de gestão de resíduos.....	22
1.4.1 Recolha e transporte	22
1.4.2 Triagem	23
1.4.3 Tratamento	23
1.4.4 Valorização.....	23
1.4.5 Eliminação.....	23
1.5 Processos/Infra-estruturas disponíveis para o tratamento de resíduos urbanos	23
1.5.1 Estação de transferência.....	23
1.5.2 Estações de triagem	24
1.5.3 Valorização material	24
1.5.4 Tratamento mecânico-biológico.....	24
1.5.5 Valorização orgânica	25
1.5.5.1 Compostagem	25
1.5.5.2 Digestão anaeróbia.....	26
1.5.6 Operações de eliminação	26
1.5.6.1 Incineração	26
1.5.6.2 Aterro.....	27
1.6 Sistema de gestão sustentável de resíduos sólidos	27
1.7 Ferramentas de apoio à gestão de resíduos	28
1.7.1 Análise de Ciclo de Vida (ACV)	28

1.7.1.1	Objectivo e âmbito	29
1.7.1.2	Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV).....	30
1.7.1.3	Avaliação de impactes de ciclo de vida.....	30
1.7.1.4	Interpretação do ciclo de vida	30
1.7.1.5	Limitações da ACV	30
1.7.2	Análise de Custos Benefícios Sociais (ACBS)	31
1.8	Motivações para a realização do trabalho e objectivo principal	31
2	Metodologia de trabalho.....	34
2.1	Descrição geral	34
2.2	Descrição dos cenários	35
2.2.1	Resíduos Urbanos.....	35
2.2.1.1	Cenário 1 -Situação actual.....	35
2.2.1.2	Cenário 2 – Estratégia PERSU II (ano 2016)	36
2.2.1.3	Cenário 3 – Estratégia proposta/alternativa	38
2.2.2	Resíduos industriais não perigosos	39
2.2.2.1	Cenário #1 – situação actual.....	40
2.2.2.2	Cenário #2 – Estratégia proposta.....	40
2.3	Aplicação da ACV aos resíduos	41
2.3.1	Objectivo	41
2.3.2	Âmbito	41
2.3.2.1	Função do sistema.....	41
2.3.2.2	Unidade funcional	42
2.3.2.3	Fronteiras do sistema	42
2.3.2.4	Requisitos e qualidade dos dados	42
2.3.2.5	Tipo e avaliação de impactes ambientais.....	43
2.4	Descrição da aplicação Umberto	43
2.4.1	Bases de dados existentes no Umberto	45
2.4.1.1	Transporte	45
2.4.1.2	Estação de Triagem.....	47
2.4.1.3	Compostagem	48
2.4.1.4	Incineração	49
2.4.1.5	Aterro.....	50
2.4.2	Aplicação do Umberto ao caso de estudo.....	52
2.4.3	Exemplos de aplicações do Umberto.....	52
2.4.4	Limitações do Umberto.....	52
3	Inventário e modelo de gestão de resíduos sólidos da Região Centro	54
3.1	Resíduos urbanos	54
3.1.1	Caracterização da área geográfica.....	54

3.1.2	Caracterização e composição dos resíduos urbanos em estudo	55
3.1.3	Caracterização dos sistemas de gestão	57
3.1.3.1	ERSUC	57
3.1.3.2	VALNOR.....	58
3.1.3.3	VALORLIS	58
3.1.3.4	ÁGUAS DO ZÊZERE E CÔA.....	58
3.1.3.5	Ecobeirão	58
3.1.3.6	Raia/Pinhal	59
3.1.4	Modelos de gestão actual.....	59
3.2	Resíduos industriais não perigosos (RINP)	59
3.2.1	Caracterização da área geográfica e inventário.....	59
3.2.2	Caracterização e composição dos resíduos em estudo	59
3.2.3	Modelo de gestão actual.....	60
4	Resultados e análise do inventário.....	63
4.1	Dados de entrada.....	63
4.1.1	Resíduos	63
4.1.1.1	Resíduos urbanos.....	64
4.1.1.2	Resíduos industriais não perigosos	64
4.1.2	Recolha e transporte	65
4.1.2.1	Recolha selectiva de RU.....	65
4.1.2.2	Recolha indiferenciada de RU	69
4.1.2.3	Resíduos industriais não perigosos	71
4.1.3	Estação de triagem.....	72
4.1.4	Incineração.....	72
4.1.4.1	Resíduos urbanos.....	72
4.1.4.2	Resíduos industriais não perigosos	75
4.1.5	Compostagem e aterro	76
4.2	Limitações da aplicação	77
4.3	Redes obtidas para cada cenário	77
4.3.1	Resíduos urbanos	77
4.3.1.1	Cenário 1	77
4.3.1.2	Cenário 2.....	78
4.3.1.3	Cenário 3.....	79
4.3.2	Resíduos industriais não perigosos	80
4.3.2.1	Cenário #1	80
4.3.2.2	Cenário #2.....	81
4.4	Resultados de inventário	81
4.4.1	Combustíveis e energia	82

4.4.2	Resíduos	85
4.4.3	Espaço para aterro	87
4.4.4	Emissões gasosas.....	88
4.4.5	Emissões líquidas.....	90
4.5	Impactes ambientais.....	90
4.5.1	Definições das categorias de impacte	90
4.5.2	Resultados dos impactes ambientais.....	93
4.5.3	Avaliação comparativa de cenários	93
4.5.3.1	Resíduos urbanos.....	93
4.5.3.2	Resíduos industriais não perigosos	98
5	Conclusões	104
5.1	Conclusões do estudo	104
5.1.1	Utilização de energia	106
5.1.2	Materiais para reciclagem.....	106
5.1.3	Resíduos e emissões	107
5.1.4	Comparação de cenários (categorias de impacte).....	107
5.2	Limitações do método utilizado	107
5.3	Sugestões para trabalho futuro	109
	Bibliografia.....	110
	Anexo A – Dados relativos à área, população, produção de RU e sistemas de gestão da região Centro para o Cenário 1.....	Erro! Marcador não definido.
	Anexo B – Quantidades da produção de RINP, RINP para incineração e distribuição pelos municípios, no ano de 2006.....	Erro! Marcador não definido.
	Anexo C – Tipologia de RINP com interesse para valorização energética.....	Erro! Marcador não definido.
	Anexo D – Zona industrial da Pedrulha.....	Erro! Marcador não definido.
	Anexo E – Dados sobre transporte de resíduos diferenciados da ERSUC.....	Erro! Marcador não definido.
	Anexo F – Distribuição das unidades de compostagem municipais nos municípios.....	Erro! Marcador não definido.
	Anexo G – Redes obtidas para os diferentes cenários.....	Erro! Marcador não definido.
	Anexo H – Toxicidade humana – substâncias presentes em cada cenário.....	Erro! Marcador não definido.

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Composição macroscópica do RU em Portugal (fonte: www.apambiente.pt)	19
Figura 1.2 – Composição macroscópica dos RINP para incineração da Região Centro	21
Figura 1.3 – Fases de uma ACV (adaptado de: NP EN ISO 14040, 2005)	29
Figura 2.1 - Metas e objectivos para o destino dos RU para o ano de 2016 (adaptado de: PERSU II, 2006)	37
Figura 2.2 – Localização geográfica da zona industrial da Pedrulha (fonte: www.cm-mealhada.pt)	38
Figura 2.3 - Percentagens de destinos finais para os RU no cenário 3	39
Figura 2.4 – Fronteiras de um sistema de gestão integrada de resíduos (adaptado de: McDougall, F., 2001)	42
Figura 2.5 – Componentes de uma rede de fluxo de materiais (adaptado de: Möller, R., 1995)	44
Figura 2.6 – Caixa de diálogo de input/output para a transição transporte no Umberto	46
Figura 2.7 - Caixa de diálogo de parâmetros da transição transporte no Umberto	47
Figura 2.8 – Caixa de diálogo com as funções de cálculo da transição de estação de triagem do Umberto	48
Figura 2.9 - Caixa de diálogo dos parâmetros da transição incineração no Umberto	49
Figura 2.10 - Sub-rede da transição aterro do Umberto	51
Figura 3.1 - Mapa da região Centro do trabalho de estudo (fonte: CCDD Centro)	55
Figura 4.1 – Caixa de texto onde são criados materiais da rede de fluxo	63
Figura 4.2 – Rede obtida para o Cenário 1	78
Figura 4.3 – Rede obtida para o Cenário 2, resíduos recicláveis	79
Figura 4.4 – Rede obtida para o cenário 2, resíduos indiferenciados	79
Figura 4.5 – Rede obtida para o Cenário 3, resíduos recicláveis	80
Figura 4.6 - Rede obtida para o cenário 3, resíduos indiferenciados	80
Figura 4.7 – Rede obtida para o cenário # 1, RINP	81
Figura 4.8 – Rede obtida para o cenário #2, RINP	81
Figura 4.9 – Combustíveis consumidos nos processos de gestão de RU em cada cenário	83
Figura 4.10 - Combustíveis consumidos nos processos de gestão de RINP em cada cenário	84
Figura 4.11 – Balanço da energia eléctrica obtida em cada cenário de RU	84
Figura 4.12 - Balanço da energia eléctrica obtida em cada cenário de RINP	85
Figura 4.13 – Resíduos e produtos gerados anualmente no tratamento de RU	86

Figura 4.14 – Resíduos sólidos finais anuais gerados no tratamento de RINP	87
Figura 4.15 – Volume de aterro ocupado pelos resíduos finais em cada cenário.....	88
Figura 4.16 – Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto potencial de aquecimento global em cada cenário de RU.....	94
Figura 4.17 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto potencial de acidificação em cada cenário de RU.....	95
Figura 4.18 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto potencial de eutrofização em cada cenário de RU.....	96
Figura 4.19 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto toxicidade humana em cada cenário de RU.....	97
Figura 4.20 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto ecotoxicidade aquática em cada cenário de RU	98
Figura 4.21 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto potencial de aquecimento global em cada cenário de RINP	99
Figura 4.22 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto potencial de acidificação em cada cenário de RINP	99
Figura 4.23 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto potencial de eutrofização em cada cenário de RINP.....	100
Figura 4.24 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto toxicidade humana em cada cenário de RINP	101
Figura 4.25 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto ecotoxicidade aquática em cada cenário de RINP	102
Figura D.1 - Enquadramento territorial do loteamento da zona industrial da Pedrulha (fonte: EIA, Resumo não técnico, IDAD, 2005)	Erro! Marcador não definido.
Figura G.1 - Rede obtida para o cenário 1	Erro! Marcador não definido.
Figura G.2 – Rede obtida para os resíduos diferenciados, cenário 2	Erro! Marcador não definido.
Figura G.3 – Rede obtida para os resíduos indiferenciados, cenário 2	Erro! Marcador não definido.
Figura G.4 - Rede obtida para os resíduos diferenciados, cenário 3	Erro! Marcador não definido.
Figura G.5 - Rede obtida para os resíduos indiferenciados, cenário 3	Erro! Marcador não definido.
Figura G.6 - Rede obtida para os resíduos industriais não perigosos, cenário #1	Erro! Marcador não definido.
Figura G.7 - Rede obtida para os resíduos industriais não perigosos, cenário #2.....	Erro! Marcador não definido.

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Quantidades e percentagens de recicláveis em Portugal (fonte: www.pontoverde.pt)	36
Tabela 2.2 - Categorias de impacte mais comuns e os respectivos efeitos no ambiente (adaptado de: Pereira, A., 2005)	43
Tabela 2.3 – Caracterização das classes para os tipos de veículos (adaptado de: Umberto, 2008)	46
Tabela 2.4 – Consumo de energia eléctrica para cada componente na transição da estação de triagem no Umberto	47
Tabela 3.1 - Composição ponderal média dos RU em Portugal (fonte: www.apambiente.pt)	56
Tabela 3.2 - Características ponderais típicas dos componentes do RU (Adaptado de: Matos, 2004, fonte: Tchobanoglous, G., 1977)	56
Tabela 3.3 - Características ponderais típicas em base tal e qual	57
Tabela 3.4 - Características típicas de materiais constituintes dos RINP	60
Tabela 4.1 - Dados de entrada das quantidades de RU para cada cenário e para cada processo	64
Tabela 4.2 - Dados de entrada das quantidades de RINP para cada cenário e para cada processo	65
Tabela 4.3 – Densidades volumétricas e capacidade do veículo para cada componente de resíduos da recolha selectiva	65
Tabela 4.4 – Valores de rácios representativos para os respectivos componentes de resíduos recicláveis relativamente à ERSUC e distâncias representativas obtidas para qualquer município em cada cenário.	67
Tabela 4.5 - Parâmetros da transição transporte de resíduos recicláveis para os diferentes cenários	68
Tabela 4.6 – Características dos veículos do transporte de resíduos da recolha indiferenciada	69
Tabela 4.7 – Distâncias representativas para o transporte de resíduos indiferenciados em qualquer município para cada cenário	70
Tabela 4.8 - Parâmetros da transição do transporte de resíduos indiferenciados para os diferentes cenários	71
Tabela 4.9 - Parâmetros da transição do transporte de resíduos industriais não perigosos para os diferentes cenários	72

Tabela 4.10 – Percentagens em massa em base tal e qual de componentes recolhidos selectivamente no cenário 3	73
Tabela 4.11 – Percentagens em massa em base tal e qual de componentes do resíduo a ser incinerado	73
Tabela 4.12 – Poder calorífico, composição elementar e próxima do RU a incinerar no cenário 3.....	74
Tabela 4.13 - Parâmetros relativos às características do resíduo para o processo incineração de RU	75
Tabela 4.14 - Parâmetros relativos às características do resíduo para o processo incineração de RINP.....	76
Tabela 4.15 – Resultados obtidos para o consumo de combustíveis e energia gerada nos diferentes cenários de resíduos urbanos e resíduos industriais não perigosos no período de um ano.....	83
Tabela 4.16 - Resultados anuais obtidos para os vários tipos de resíduos gerados nos diferentes cenários de resíduos urbanos e resíduos industriais não perigosos.....	85
Tabela 4.17 - Resultados obtidos para emissões gasosas anuais para a atmosfera geradas nos diferentes cenários de resíduos urbanos e resíduos industriais não perigosos	89
Tabela 4.18 - Resultados obtidos para emissões anuais para a água geradas nos diferentes cenários de resíduos urbanos e resíduos industriais não perigosos.....	90
Tabela 4.19 – Substâncias mais comuns e os respectivos impactes (traduzidos por factores de impacte) nas diversas categorias	92
Tabela 4.20 – Resultados obtidos para as categorias de impacte ambiental nos diferentes cenários de resíduos urbanos e resíduos industriais não perigosos	93
Tabela 5.1 – Quantidades totais anuais de resíduos industriais e urbanos considerados no estudo.....	104
Tabela 5.2 – Processos de tratamento e/ou eliminação utilizados em cada cenário	104
Tabela 5.3 – Comparação de resultados entre os diferentes cenários.....	105
Tabela A.1 – Dados relativos à área, população, produção de RU e sistemas de gestão da região Centro (1/2).....	Erro! Marcador não definido.
Tabela A.1 (cont.) – Dados relativos à área, população, produção de RU e sistemas de gestão da região Centro (2/2)	Erro! Marcador não definido.
Tabela B.1 - Quantidades da produção de RINP, RINP para incineração e distribuição pelos municípios. (1/2).....	Erro! Marcador não definido.
Tabela B.1 (cont.) - Quantidades da produção de RINP, RINP para incineração e distribuição pelos municípios. (2/2)	Erro! Marcador não definido.
Tabela C.1 - Tipologia de RINP com interesse para valorização energética. (1/2).....	Erro! Marcador não definido.

Tabela C.1 (cont.) - Tipologia de RINP com interesse para valorização energética. (2/2)	Erro! Marcador não definido.
Tabela E.1 - Dados sobre a distância necessária percorrer para recolher uma tonelada de cada componente de resíduos nos municípios pertencentes à ERSUC. (fonte: www.ERSUC.pt)	Erro! Marcador não definido.
Tabela F.1 - Distribuição de unidades de compostagem municipais de acordo com a produção de resíduos orgânicos (1/1)	Erro! Marcador não definido.
Tabela F.1 (cont.) - Distribuição de unidades de compostagem municipais de acordo com a produção de resíduos orgânicos (2/2)	Erro! Marcador não definido.
Tabela H.1 – Substâncias presentes em cada cenário para a categoria de impacte ambiental em cada cenário	Erro! Marcador não definido.

Lista de Abreviaturas

ACV – Análise de Ciclo de Vida

ACBS – Análise de Custo Benefício Social

AICV – Avaliação de Inventário de Ciclo de Vida

ANR – Autoridade Nacional dos Resíduos

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CCDR – Comissão e Coordenação do Desenvolvimento Regional

CDR – Combustíveis Derivados de Resíduos

CEIFA – Centro de Estudos, Informação e Formação para o Ambiente

ERSUC – Sistema Municipal do Litoral do Centro

ICV – Inventário de Ciclo de Vida

IGA – Inspeção Geral do Ambiente

INE – Instituto Nacional de Estatística

INR – Instituto Nacional dos Resíduos

IRAR – Instituto Regulador da Água e dos Resíduos

ISO – International Standardization Organization

LER – Lista Europeia de Resíduos

Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto

MAOTDR – Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

MSW – Municipal Solid Waste

NHIW – Non-Hazardous Industrial Waste

PA – Potencial de Acidificação

PAG – Potencial de Aquecimento Global

PCI – Poder Calorífico Inferior

PE – Potencial de Eutrofização

PERSU – Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos

PESGRI – Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais

PFOF – Potencial de Formação de Oxidantes Fotoquímicos

Planalto Beirão – Associação de Municípios do Planalto Beirão

Raia/Pinhal – Associação de municípios da Raia/Pinhal

RESIOESTE – Sistema Municipal do Oeste

RINP – Resíduos Industriais Não Perigosos

RI – Resíduos Industriais

RO – Resíduos Orgânicos

RU – Resíduos Urbanos

SPV – Sociedade Ponto Verde

SIRER - Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos

TH – Toxicidade Humana

VALNOR – Sistema Municipal de Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos do Norte Alentejano

VALORLIS – Sistema Municipal da Alta Estremadura

VALORSUL – Sistema Municipal de Lisboa Norte

Nomenclatura

$d_{CM,j}$	– Distância representativa de transporte de RO para compostagem municipal em qualquer município	[km.viagem ⁻¹]
d_j	– Distância do município j à estação de triagem ou zona de tratamento	[km]
d_{ji}	– Distância percorrida para a recolha de uma tonelada de resíduo reciclável i no município j na ERSUC	[km.ton ⁻¹]
$d_{m,C}$	– Distância do município j à unidade de compostagem	[km.viagem ⁻¹]
$d_{m,i}$	– Distância percorrida para a recolha de cada componente i em qualquer município j	[km]
d_{rj}	– Distância percorrida para o transporte de uma tonelada de resíduos do município j	[km.ton ⁻¹]
$d_{RINP,j}$	– Distância percorrida para o transporte de RINP no município j	[km]
$I_{LER,inc j}$	– Fracção de resíduos industriais incineráveis de código LER i em cada município j em relação a todos os resíduos incineráveis	[ton LER i /ton mistura LER i]
LER_{ijk}	– Quantidade de resíduos do tipo i , produzido no município j pela actividade k (onde $k=1$ para resíduos urbanos indiferenciados, $k=2$ para resíduos urbanos da recolha selectiva, $k=3$ para resíduos urbanos orgânicos e $k \geq 4$ para resíduos industriais)	[ton.ano ⁻¹]
$LER_{i,j,1}$	– Quantidade de resíduos indiferenciados no município j	[ton.ano ⁻¹]
$LER_{i,j,2}$	– Quantidade de resíduo reciclável i no município j	[toneladas j /ano]
$LER_{i,j,2(ERSUC)}$	– Quantidade de resíduo reciclável i no município j pertencente à ERSUC	[ton.ano ⁻¹]
$LER_{i,j,3}$	– Quantidade de RO produzidos no município j	[ton RO.ano ⁻¹]
$PCI_{i,R}$	– Poder calorífico do componente i em base seca	[MJ/kg i bs]
$PCI_{i,H}$	– Poder calorífico do componente i em base tal e qual	[MJ/kg i btq]
$PCI_{i,H'}$	– Poder calorífico do componente i do resíduo a incinerar em base tal e qual	[MJ/kg i btq]
$P_{i,d}$	– Percentagem de cada componente i reciclável nos diferenciados	[%]
Pr_i	– Percentagem de recolha selectiva de cada componente i	[%]
Qer_i	– Quantidades de resíduos enviadas para reciclagem no ano de 2005 de cada componente i	[ton.ano ⁻¹]
$Q_{INC,j}$	– Quantidade de resíduos incineráveis no município j	[ton/ano.município j]
Qr_i	– Quantidades de resíduos recicladas em Portugal no ano de 2005 de cada componente i	[ton.ano ⁻¹]
$R_{INP,j}$	– Quantidade de resíduos industriais não perigosos produzidos na Região Centro em cada município j	[ton/ano.município j]
$R_{ij(ERSUC)}$	– Rácio do resíduo reciclável i no município j na ERSUC	[km i /km R]
$R_{LER,i}$	– Quantidade de resíduos industriais não perigosos da tipologia LER na Região Centro	[ton.ano ⁻¹]
v	– Capacidade do veículo de recolha	[ton]
w_{iH}	– Fracção mássica do componente i numa mistura H em base tal e qual	[kg i btq/kg H btq]
$w_{i,INC}$	– Percentagem em massa em base tal e qual de cada componente i do resíduo urbano a ser incinerado	[%]
$w_{i,r}$	– Percentagem em massa em base tal e qual de cada componente	

	<i>i</i> no resíduo urbano	[%]
$w_{i,RS}$	– Percentagem em massa em base tal e qual de cada componente <i>i</i> do RU recolhido selectivamente	[%]
w_{iR}	– Fracção mássica do componente <i>i</i> numa mistura R em base seca	[kg i bs/kg R bs]
w_{ji}	– Fracção mássica do elemento químico <i>j</i> no componente <i>i</i> em base seca	[kg j/kg i bs]
$w_{ji,H}$	– Fracção mássica do elemento químico <i>j</i> no componente <i>i</i> em base tal e qual	[kg j/kg i btq]
$w_{ji,H}'$	– Fracção mássica do elemento químico <i>j</i> no componente <i>i</i> do resíduo a incinerar em base tal e qual	[kg j/kg i btq]
w_{wH}	– Fracção mássica da humidade numa mistura em base tal e qual	[kg H ₂ O/Kg H btq]
w_{wi}	– Fracção mássica da humidade do componente <i>i</i> em base tal e qual	[kg H ₂ O/kg i btq]
w_{wi}'	– Fracção mássica da humidade do componente <i>i</i> do resíduo a incinerar em base tal e qual	[kg H ₂ O/kg i btq]

Definições

Aeróbio – estado biológico de vida e crescimento na presença de oxigénio livre.

Anaeróbio – estado de vida e crescimento na ausência de oxigénio livre.

Armazenagem – deposição temporária e controlada, por prazo não indeterminado, de resíduos antes do seu tratamento, valorização ou eliminação.

Biogás – mistura de gases com preponderância do gás metano, resultante da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos.

Cinza – conteúdo em material que permanece após incineração na mufla a 550°C, durante um determinado período.

Componente – constituinte macroscópico do resíduo (papel, plástico, vidro, metais, etc.) cuja composição próxima e elementar seja conhecida.

Composição próxima – conteúdo ponderal em humidade, cinzas e voláteis.

Composto – material estável, semelhante ao húmus, rico em matérias orgânicas e desprovido de odores desagradáveis, resultante de um processo de decomposição de resíduos biológicos.

Ecopontos – locais na via pública onde se encontram contentores destinados à recolha de vários tipos específicos de resíduos (recicláveis e indiferenciados).

Ecocentro – locais especialmente adaptados onde podem ser colocados contentores para várias categorias de resíduos para reciclagem.

Humidade – conteúdo em água de uma amostra que desaparece na estufa a 105°C, durante um determinado período.

Lixiviado – efluente líquido que percola através da massa de RU confinada em aterro e que é resultante da água contida nos resíduos, adicionada da que é proveniente da precipitação meteorológica e, eventualmente, da infiltração de águas subterrâneas pré-existentes.

Sistema intermunicipal – sistema gerido por uma associação de municípios através de uma empresa intermunicipal, concessionária ou não.

Sistema municipal – sistema gerido por um município ou uma associação de municípios e que não é abrangido por um sistema multimunicipal.

Sistema multimunicipal – sistema que serve no mínimo dois municípios e exige um investimento por parte do Estado em função de razões de interesse nacional, sendo a sua criação e concessão objecto de decreto-lei.

1 Introdução

Os resíduos constituem um desafio ambiental, social e económico para todos os países. A necessidade de diminuir a produção de resíduos e de assegurar a sua gestão sustentável tornou-se numa questão de cidadania.

Em termos de matéria legal em Portugal, a gestão de resíduos encontra no Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, o seu principal normativo. É neste documento que se podem encontrar as regras e os princípios de gestão de resíduos, que depois são suportados com regulamentação específica para os vários tipos de resíduos.

Actualmente, a tutela da área ambiental em Portugal é da responsabilidade do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (MAOTDR), Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) e as Câmaras Municipais (papel regulador).

A implementação de políticas de ambiente passa também por um conjunto de organismos que têm sofrido alterações constantes. Os organismos mais importantes são: a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), a Inspeção Geral do Ambiente (IGA) e o Instituto Regulador da Água e dos Resíduos (IRAR).

A Agência Portuguesa do Ambiente resultou da fusão do Instituto do Ambiente e do Instituto Nacional dos Resíduos (INR). A APA integra as funções que anteriormente eram detidas pelo INR, sendo assim o organismo do Estado Português, no âmbito do Ministério do Ambiente, tendo a responsabilidade da definição e execução da política nacional em matéria de resíduos e de assegurar o cumprimento das normas e dos regulamentos técnicos relacionados com a gestão de resíduos, pelo que funciona actualmente como Autoridade Nacional dos Resíduos (ANR).

1.1 Resíduos urbanos (RU)

A aplicação de uma política de ambiente para o caso dos resíduos urbanos conduziu à criação de uma rede de organismos com funções específicas em matéria de gestão de resíduos, sendo estes:

- organismos reguladores;
- associações multimunicipais e intermunicipais responsáveis pelo destino final dos resíduos;

- sociedades gestoras de fluxos específicos de resíduos;
- entidades privadas licenciadas para a realização de tarefas de limpeza e higiene urbana;
- entidades privadas licenciadas para as operações de transporte e reciclagem;

1.1.1 Definição de RU e sua composição

O resíduo urbano (RU) é definido como “o resíduo proveniente de habitações bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações” (Decreto-Lei nº178/2006)

Os RU são caracterizados por apresentarem uma mistura de materiais de natureza muito diversificada. Aos componentes individuais que fazem um fluxo de resíduos sólidos e à sua distribuição relativa dá-se o nome de composição macroscópica. Esta é geralmente expressa em percentagem por peso.

A composição macroscópica média dos RU em Portugal está representada na Figura 1.1.

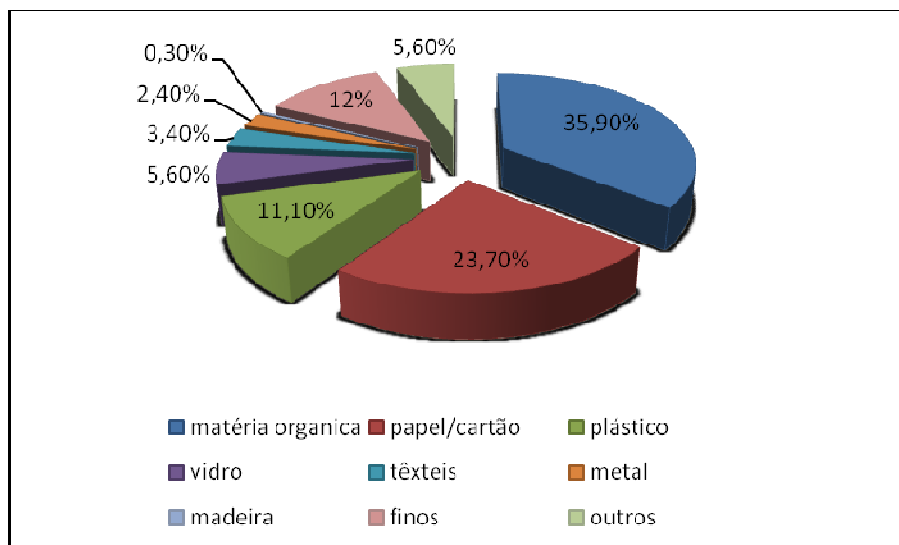


Figura 1.1 - Composição macroscópica do RU em Portugal (fonte: www.apambiente.pt)

1.1.2 Propriedades dos RU

As propriedades dos RU podem ser classificadas quanto às propriedades físicas, químicas e biológicas. Estas propriedades devem ser conhecidas de modo a se poderem desenvolver e conceber sistemas de tratamento integrados na gestão de resíduos sólidos (Tchobanoglous, G. et al, 1993).

As características físicas são a massa volúmica, humidade presente na mistura, tamanho das partículas, distribuição por tamanho, capacidade de campo (permite calcular a formação de lixiviados em aterro) e condutividade hidráulica (responsável pela movimentação de gases e líquidos em aterro) (Tchobanoglous, G. et al, 1993).

As propriedades químicas mais importantes são a composição elementar ponderal (percentagem de carbono, oxigénio, azoto, hidrogénio, enxofre e cinzas) e o poder calorífico inferior (indica a quantidade de calor libertado na combustão do resíduo). A informação acerca destas propriedades é essencial, pois permite a avaliação de opções de tratamento ou valorização mais adequadas conforme as características do resíduo.

1.2 Resíduos industriais (RI)

1.2.1 Definição de RI e sua composição

Entende-se como resíduo industrial *“o resíduo gerado em processos produtivos industriais, bem como o que resulte das actividades de produção e distribuição de electricidade, gás e água”* (Decreto-Lei nº 178/2006).

De acordo com o normativo legal, os resíduos industriais podem ser ainda classificados como perigosos, não perigosos ou inertes.

Resíduo perigoso é *“o resíduo que apresente, pelo menos, uma característica de perigosidade para a saúde ou para o ambiente, nomeadamente os identificados como tal na Lista Europeia de Resíduos”*.

Resíduo inerte é todo *“o resíduo que não sofre transformações físicas, químicas ou biológicas importantes e, em consequência, não pode ser solúvel nem inflamável, nem ter qualquer outro tipo de reacção física ou química, e não pode ser biodegradável, nem afectar negativamente outras substâncias com as quais entre em contacto de forma susceptível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana, e cujos lixiviabilidade total, conteúdo poluente e ecotoxicidade do lixiviado são insignificantes e, em especial, não põem em perigo a qualidade das águas superficiais e ou subterrâneas”*.

Resíduo não perigoso é o resíduo que não apresente características de perigosidade.

Neste trabalho apenas é caracterizado o resíduo industrial não perigoso (RINP) com interesse para valorização energética. Na Figura 1.2 é apresentada a composição macroscópica do respectivo resíduo.

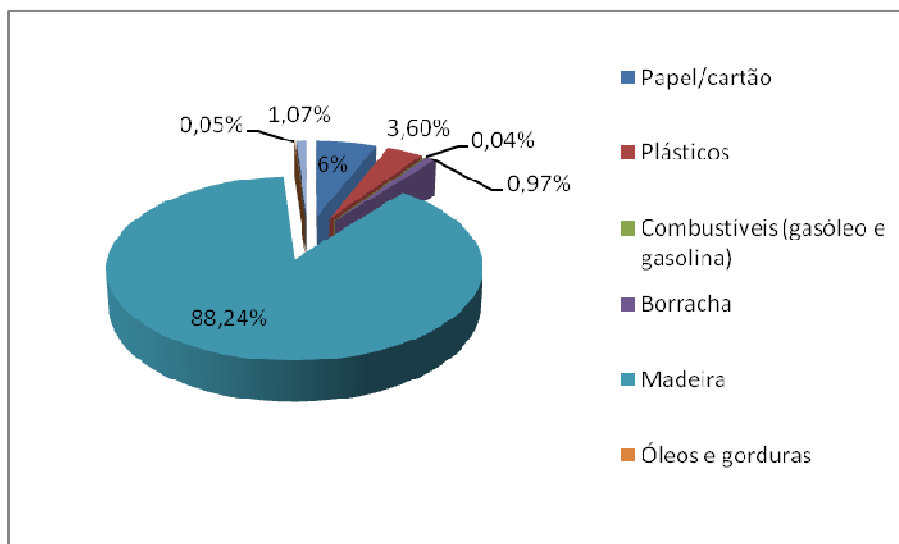


Figura 1.2 – Composição macroscópica dos RINP para incineração da Região Centro

1.3 Aspectos legais da gestão de resíduos

Do ponto de vista legal, a Directiva-quadro sobre resíduos (91/156/CEE posteriormente consolidada pela Directiva 2006/12/CE, de 5 de Abril de 2006) estabelece a base de grande parte dos documentos legislativos relativos aos resíduos.

O Decreto-Lei nº 239/97 de 9 de Setembro foi revogado pelo Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, que veio estabelecer o novo regime geral da gestão de resíduos. Este diploma aplica-se às operações de gestão de resíduos, compreendendo as operações de recolha, transporte, armazenamento, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos. Veio consagrar também um conjunto de princípios em matéria de gestão de resíduos, como a noção de auto-suficiência, princípio da prevenção e a preferência da valorização dos resíduos em vez da sua eliminação. É também destacada a importância de minimização da produção de resíduos.

O decreto-lei referido anteriormente permitiu a criação do Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos (SIRER), que agrega toda a informação (quantidade, tipo, origem, operações a que são submetidos e destino) relativa aos resíduos produzidos e importados para o território nacional.

Outro importante diploma para a gestão de resíduos é a Lista Europeia de Resíduos (LER), caracterizada pela Portaria 209/2004. Esta estabelece vinte categorias de resíduos, especifica os resíduos perigosos e estabelece as operações de gestão de resíduos.

A legislação relativa às infra-estruturas de tratamento de resíduos, define normas e requerimentos associados às operações de gestão de resíduos, com o objectivo de limitar os seus impactes ambientais na saúde humana. Neste contexto, estão incluídas as Directivas aterros (Directiva 1999/31/CE, 26 de Abril) e a Directiva Incineração (Directiva 2000/76/CE, 4 de Dezembro).

1.4 Operações de gestão de resíduos

As operações de gestão de resíduos podem ser realizadas por diferentes processos, que podem ser realizados recorrendo a diferentes técnicas, que por sua vez podem ser concretizadas por diferentes tecnologias. (Matos, A., 2007)

1.4.1 Recolha e transporte

A recolha refere-se ao conjunto de actividades de remoção de resíduos, incluindo o armazenamento temporário, a alocação dos diferentes componentes presentes nos resíduos ao sistema de recolha de resíduos através da participação voluntária dos cidadãos e ainda as operações de carga/descarga e transporte. (Matos, A., 2007)

Em Portugal a recolha de resíduos pode ser feita através de uma recolha indiferenciada ou uma recolha selectiva. Da recolha selectiva fazem parte o vidro, o papel/cartão e as embalagens (metais e plásticos) que são depositados voluntariamente pelos cidadãos nos respectivos contentores, distribuídos estrategicamente pelos municípios. Da recolha indiferenciada fazem parte os restantes resíduos domésticos que não foram separados e foram depositados pelos cidadãos em contentores apropriados.

O transporte dos resíduos é um dos processos mais importantes do sistema de gestão. Isto porque este é o processo que envolve maiores gastos económicos (necessidades dos veículos, equipamentos, manutenção, etc.).

O transporte dos resíduos diferenciados é feito desde os municípios até às estações de triagem.

No que diz respeito ao transporte de resíduos indiferenciados, este pode ser classificado de duas formas: transporte “em baixa” e transporte “em alta”. Diz-se transporte “em baixa” quando este é feito desde os circuitos de recolha a uma estação de transferência ou directamente ao destino final (eliminação ou tratamento). Considera-se transporte “em alta” quando este é efectuado desde uma estação de transferência até ao seu destino final (eliminação ou tratamento). (Matos, A., 2007)

1.4.2 Triagem

A triagem refere-se à separação dos vários componentes recolhidos a partir da recolha selectiva de resíduos urbanos, tendo como objectivo possibilitar a reciclagem dos mesmos, retirando também todos os materiais indesejáveis.

1.4.3 Tratamento

O tratamento refere-se ao conjunto de processos destinados a transformar os resíduos tendo em vista a melhoria das etapas de transporte, valorização e eliminação (compactação, secagem, trituração, etc.) (Matos, A., 2007)

1.4.4 Valorização

A valorização de resíduos sólidos pode ser realizada através de vários processos (pode ser usado um só tratamento ou vários tratamentos combinados), e inclui a reciclagem material, a reciclagem orgânica mas também a valorização energética de resíduos.

A valorização refere-se ao conjunto de operações que incluem processos químicos, processos termoquímicos e processos biológicos. (Matos, A., 2007)

1.4.5 Eliminação

No processo de eliminação, os resíduos que não foram possíveis de serem valorizados por qualquer um dos processos anteriormente referidos, são submetidos a tratamento térmico (incineração) com ou sem recuperação de energia, ou então são depositados em aterro, sendo este o destino último de um sistema de gestão de resíduos.

1.5 Processos/Infra-estruturas disponíveis para o tratamento de resíduos urbanos

1.5.1 Estação de transferência

Estações de transferência são infra-estruturas onde se descarregam os resíduos produzidos em áreas mais afastadas do destino final, com o objectivo de os preparar para serem transportados para o local de tratamento, valorização ou eliminação, de modo diminuir os custos de transporte para municípios mais distantes. Geralmente, é

compensatório o uso da estação de transferência para distâncias de transporte superiores a 25 km.

1.5.2 Estações de triagem

A triagem pode ser encarada sobre duas incidências:

- a) Triagem de RU indiferenciados tendo em vista a produção de materiais recicláveis ou materiais destinados à produção de CDR
- b) Triagem de RU provenientes do sistema de recolha selectiva (Ecopontos ou Ecocentros)

A primeira é adoptada actualmente como uma das fases preliminares dos processos tecnológicos da compostagem e/ou digestão anaeróbia (Tratamento mecânico-biológico), de forma a seleccionar as componentes valorizáveis dos RU indiferenciados, tendo em vista uma optimização do rendimento final do processo e a melhoria da qualidade do produto final.

A outra opção de triagem traduz a selecção dos recicláveis que foram separados nas habitações e que requerem um processamento adequado, nomeadamente a remoção dos contaminantes.

1.5.3 Valorização material

A reciclagem é o conjunto de operações a que um dado resíduo é sujeito permitindo recuperar alguns tipos de materiais de forma que posteriormente seja possível reutilizá-los ou introduzi-los novamente na cadeia produtiva. (Matos, A., 2007)

Os materiais susceptíveis de sofrerem reciclagem são o vidro, papel e cartão, metais, plásticos e orgânicos. Para que possam ser reciclados, estes materiais deverão manter, sem grandes alterações, a sua composição ao longo do reprocessamento. (Matos, A., 2007)

1.5.4 Tratamento mecânico-biológico

O termo tratamento mecânico-biológico consiste numa combinação de variadas técnicas tendo como parte integrante a triagem dos resíduos para ser reutilizado o material aproveitável, combinado com tratamento biológico. Com a triagem, são separados os diversos componentes do RU, como os recicláveis materiais (vidro, papel/cartão e embalagens), os materiais orgânicos e os restantes resíduos. Os

recicláveis materiais são enviados à indústria de reciclagem, os materiais orgânicos são sujeitos ao processo de digestão anaeróbia ou compostagem e os restantes resíduos são enviados para aterro, podendo uma parte destes ser usada para produzir CDR.

1.5.5 Valorização orgânica

A valorização orgânica é um método de tratamento de RU cujo produto final principal é o composto, principalmente usado na agricultura.

A compostagem e a digestão anaeróbia são técnicas para a valorização da matéria orgânica, sendo a principal diferença entre as duas as condições em que ocorre a degradação da matéria orgânica (a compostagem é realizada na presença de oxigénio e a degradação anaeróbia sem a presença de oxigénio, como o próprio nome indica).

1.5.5.1 Compostagem

A compostagem é um processo controlado de oxidação biológica, através do qual a matéria orgânica presente nos resíduos é decomposta pelos microrganismos, num ambiente quente, húmido e na presença de oxigénio. No decorrer deste processo, a matéria orgânica sofre transformações físicas e químicas, sendo convertida num produto final, denominado “composto”, que poderá ser posteriormente utilizado nos solos como fertilizante orgânico e agente estruturante, melhorando assim a sua estrutura. Este processo tem um elevado interesse pois contribui para a diminuição da deposição de resíduos orgânicos em aterro, para além de ter um custo reduzido, quando comparado com outras técnicas de tratamento.

A compostagem pode ser realizada em sistema aberto (pilha) ou em sistema fechado (reactor).

Os sistemas abertos englobam técnicas simples e representam menores custos de investimento e exploração. São os mais indicados para compostagem doméstica.

Os sistemas fechados são mais sofisticados que os sistemas abertos e, por isso, mais dispendiosos, sendo mais indicados para processos de compostagem em grande escala.

A preparação do composto desenvolve-se em três fases: pré-tratamento, compostagem activa e maturação.

Os produtos finais resultantes do processo são essencialmente o dióxido de carbono, vapor de água e o produto estabilizado, o “composto”.

1.5.5.2 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia consiste num processo em que há a conversão da fracção orgânica dos resíduos em metano e dióxido de carbono, na presença de microrganismos e na ausência de oxigénio. O biogás produzido ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) poderá ser depois aproveitado.

Uma das vantagens deste processo é o facto de ser bastante flexível, pois podem ser tratados diferentes tipos de resíduos, sejam eles secos ou húmidos, e provenientes quer de uma recolha selectiva, quer indiferenciada. No entanto, quando os resíduos são provenientes de recolha indiferenciada, o composto produzido poderá não ter a qualidade desejada, pois é possível que esteja contaminado por metais pesados, provenientes dos materiais não orgânicos existentes no RU.

Outra desvantagem também é o facto de ser produzido neste processo um digestato, que terá que sofrer um processo de maturação posterior, para dar origem ao composto.

1.5.6 Operações de eliminação

1.5.6.1 Incineração

A incineração é um processo de eliminação segura dos resíduos, indicada para os que não podem ser reutilizados ou reciclados. É um processo termoquímico, onde os resíduos são submetidos a uma elevada temperatura ($800\text{--}1000^\circ\text{C}$), dando origem a substâncias mais simples em estado gasoso, líquido ou sólido, havendo libertação de calor. (Matos, A., 2004)

Durante a combustão dos resíduos a matéria orgânica presente nos resíduos é oxidada pelo oxigénio do ar dando origem a gases simples (CO_2 , H_2O , N_2 , NO_x , SO_x , HCl , CO e HC), cinzas (escórias e volantes) e micropoluentes (PAH's, dioxinas, furanos e metais voláteis). (Matos, A., 2004)

Este processo tem as seguintes vantagens:

- aproveitamento do valor energético dos resíduos, produzindo electricidade que posteriormente é vendida à rede eléctrica nacional;
- reduz em cerca de 90% o volume dos resíduos finais a depositar em aterro;
- destrói organismos patogénicos.

O Decreto-Lei nº 85/2005 estabelece o regime legal a que fica sujeita a incineração e a co-incineração de resíduos.

Na aplicação aos RU, a incineração é necessária para alguns componentes (plásticos, couros, têxteis, papéis). No entanto, para a fracção orgânica dos resíduos urbanos, a incineração é inadequada, não só pelo baixo poder calorífico e elevado teor de humidade que este componente de RU contém, mas também porque dá origem à perda de nutrientes que poderiam ser usados no solo. (Matos, A., 2004)

O processo de incineração pode dar origem a impactes ambientais negativos (tais como, maus cheiros, ruído, presença de vectores, impacte paisagístico) e se o controle de emissões gasosas for deficiente, tal como pode ocorrer na sequência de avarias nos sistemas depuradores. (Matos, A., 2004)

1.5.6.2 Aterro

Aterros são infra-estruturas consideradas técnica e ambientalmente adequadas para a eliminação de resíduos. Devem obedecer a um projecto de implantação e exploração, respeitando normas e critérios técnicos. Essas normas podem ser encontradas no Decreto-Lei nº 152/2002. Este diploma incide fundamentalmente sobre os aspectos técnicos e construtivos, dando especial relevo à importância da monitorização durante todo o ciclo de vida do aterro. Estabelece também limitações quanto à quantidade de matéria orgânica biodegradável depositada em aterro, tendo como referência o ano de 1995 e, como metas uma redução de 50 % em 2008 e 35% a partir de 2015. (Matos, A., 2004).

A exploração de um aterro compreende o controlo da recepção de resíduos, a deposição no solo, a compactação e a cobertura diária, o controlo de lixiviados e das emissões gasosas. Quando a capacidade do aterro se esgota, este é coberto, dando lugar à plantação de ervas e arbustos, com o objectivo de servir como parque de lazer. É importante referir que, mesmo depois de encerrado, continuam a existir emissões líquidas e gasosas que devem ser controladas.

O aterro é uma componente presente em qualquer sistema de gestão integrada de resíduos, representando o destino final para todos os resíduos que não foram possíveis de valorizar ou os resíduos resultantes de um tratamento de valorização.

1.6 Sistema de gestão sustentável de resíduos sólidos

Um sistema de gestão sustentável de resíduos sólidos deve ser ambientalmente eficiente (reduzir ao máximo os resíduos gerados, bem como as emissões gasosas e líquidas), economicamente suportável (o sistema deve operar a custos que possam ser suportados por toda a sociedade) e socialmente aceite (o sistema de gestão deve

operar de modo a ser aceite pela maior parte da comunidade, tendo em conta a educação e o desenvolvimento (McDougall, F. et al, 2001).

Um sistema de gestão sustentável de resíduos deve ser integrado, com orientações para o mercado, flexível e socialmente aceite.

Um sistema integrado de resíduos sólidos deve procurar:

- a adequada eliminação dos resíduos de modo a garantir a qualidade ambiental e de vida das populações;
- a valorização de recursos associados aos resíduos sólidos;
- as condições que permitam ao sistema de resíduos sólidos acompanhar e responder ao desenvolvimento económico e social da região;
- operar a uma escala suficiente grande;
- a integração das soluções num quadro de acções que permita a concretização das prioridades estabelecidas;
- tentar sempre reduzir os impactes ambientais e os custos.

As estratégias de gestão de resíduos obedecem uma hierarquia de prioridades que se baseiam na prevenção (redução, reutilização e recuperação), seguida pela valorização (reciclagem material, tratamento biológico ou tratamento térmico) e, por último, a eliminação.

Para que um sistema de gestão de resíduos seja o mais eficiente possível, a participação dos cidadãos é fundamental. Enquanto colocar os resíduos sólidos indiferenciados nos respectivos contentores parece uma tarefa simples, para alguns cidadãos separar correctamente os materiais recicláveis e colocá-los nos respectivos ecopontos torna-se mais complicado, pelo que é importante a participação dos cidadãos nestas actividades para que o sistema funcione (McDougall, F. et al, 2001).

1.7 Ferramentas de apoio à gestão de resíduos

1.7.1 Análise de Ciclo de Vida (ACV)

A Análise de Ciclo de Vida é uma metodologia que permite compilar os fluxos de entrada e saída, e avaliar os potenciais impactes ambientais associados a um produto/processo ao longo de todo o seu ciclo de vida (“do berço ao túmulo”), desde a

extracção das matérias-primas, até a deposição final no ambiente (NP EN ISO 14040,2005).

Esta técnica tem em conta todos os estágios do ciclo de vida, desde a aquisição das matérias-primas, passando pela produção, distribuição, uso, possível reutilização/reciclagem até a sua deposição final (McDougall, F. et al, 2001).

O uso desta ferramenta aplicada à gestão de resíduos permite estimar os principais impactes ambientais associados às operações de gestão de resíduos, apresentando especial importância na avaliação comparada de diferentes alternativas de gestão (cenários) para o destino final dos resíduos (Matos, A., 2007).

De acordo com a norma ISO 14040, esta ferramenta compreende quatro fases: objectivo e âmbito, inventário de ciclo de vida, avaliação de impactes de ciclo de vida e a interpretação.

Na Figura 1.3 estão representadas esquematicamente as fases de uma análise de ciclo de vida.

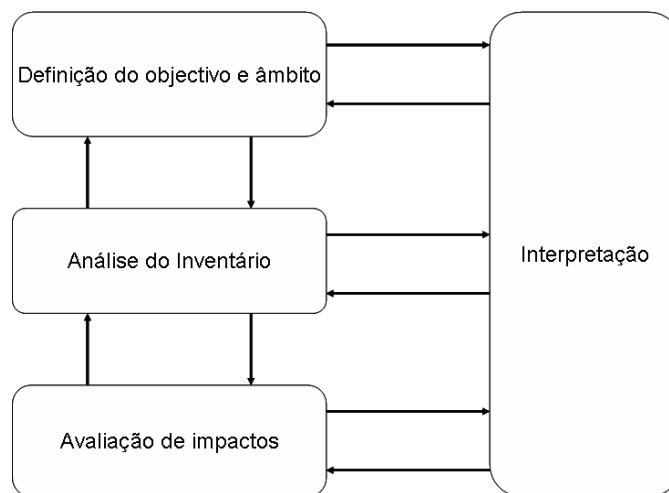


Figura 1.3 – Fases de uma ACV (adaptado de: NP EN ISO 14040, 2005)

1.7.1.1 Objectivo e âmbito

Esta fase é essencial para o êxito do estudo, sendo crucial que o objectivo e o âmbito sejam claramente definidos e consistentes com a aplicação pretendida, estando de acordo com as respectivas disposições da ISO 14041 (NP EN ISO 14040,2005).

Nesta fase deve ser estabelecido um plano ou metodologia global que conduza a ACV, bem como devem ser definidas a função do sistema, a unidade funcional, as fronteiras do sistema, os requisitos e a qualidade dos dados, o tipo e avaliação de impactes ambientais e as limitações.

1.7.1.2 Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

A análise do inventário envolve procedimentos de recolha de dados e de cálculo para a quantificação das entradas e saídas relevantes de um sistema. Assim, são compilados os dados mensuráveis referentes aos processos e intervenções ambientais (emissões líquidas, gasosas e sólidas) que irão servir de suporte ao estabelecimento de uma análise de inventário. Esta fase deve ter como orientação as disposições da ISO 14041 (McDougall, F. et al, 2001).

1.7.1.3 Avaliação de impactes de ciclo de vida

A avaliação de impactes consiste na transformação das intervenções ambientais (obtidas no ICV) em categorias de impacte (efeitos ambientais potenciais) e deve ser orientada segundo a norma ISO 14042 (McDougall, F. et al, 2001).

O nível de detalhe, a escolha dos impactes avaliados e as metodologias utilizadas dependem do objectivo e do âmbito do estudo.

Nesta fase, a escolha, modelação e avaliação das categorias de impacte são subjectivos, por isso, é de extrema importância que os pressupostos sejam claramente descritos e comunicados (NP EN ISO 14040, 2005).

Há várias metodologias para a avaliação de impactes tais como a metodologia de *Leiden* (orientadas para categorias ambientais) e o *Eco indicator 99* (orientado para danos ambientais) (Matos, A., 2007).

1.7.1.4 Interpretação do ciclo de vida

A interpretação é a fase da ACV em que são combinados os resultados da análise do inventário e da avaliação de impacte, ou seja, são interpretados os efeitos ambientais causados pelas intervenções ambientais (emissões poluentes, extracção de recursos naturais). A mesma intervenção pode estar associada a mais do que uma categoria, e por isso deve ser contabilizada em todas as categorias em que é interveniente.

Esta fase deve seguir orientações da ISO 14043 (McDougall, F. et al, 2001).

1.7.1.5 Limitações da ACV

Apesar de todas as vantagens que a ACV pode apresentar na avaliação de um sistema de gestão, esta ainda apresenta algumas limitações:

- a natureza dos pressupostos adoptados na ACV pode ter um carácter subjectivo (NP EN ISO 14040, 2005);

- os modelos utilizados para a análise do inventário ou para a avaliação de impactes ambientais são limitados pelos pressupostos adoptados e podem não estar disponíveis para todas as aplicações de estudo (NP EN ISO 14040, 2005);
- o rigor dos estudos de ACV pode estar condicionado pela disponibilidade ou qualidade dos dados relevantes (NP EN ISO 14040, 2005);
- considera apenas o critério ecológico, mas não os critérios económico e social (Pereira, A., 2005);

- a fase de avaliação de impactes ainda tem um carácter subjectivo, não podendo servir de base para regulamentação legislativa sobre limite de emissões (Pereira, A., 2005).

1.7.2 Análise de Custos Benefícios Sociais (ACBS)

A ACBS capacita o decisor para avaliar os efeitos positivos e negativos de um conjunto de cenários convertendo todos os impactes numa unidade comum, usualmente monetária. Pretende assim averiguar-se se a realização de um projecto é compensada pelos benefícios daí resultantes, tendo em atenção os custos económicos, sociais e ambientais, expressos em unidades monetárias (Pereira, A., 2005).

A maior vantagem do uso desta ferramenta é permitir a comparação de custos e benefícios numa mesma base monetária (Pereira, A., 2005).

A ACBS considera não só os custos internos (financeiros) mas também os custos de externalidades. Estes custos de externalidades são custos causados ao ambiente e à sociedade e que não são contabilizados nos preços normais do mercado (Pereira, A., 2005).

A metodologia de cálculo de ACBS mais usual é a chamada “análise de roteiro de impactes” e consiste em percorrer todo um processo, desde a emissão de um poluente até ao seu efeito final no ambiente, através de vários modelos matemáticos para dispersão de poluentes em vários meios (Pereira, A., 2005).

1.8 Motivações para a realização do trabalho e objectivo principal

O actual sistema económico nacional caracteriza-se por uma elevada produção de resíduos industriais e urbanos. Normalmente é atribuído a estes resíduos um valor

económico negativo, devido ao seu aproveitamento não ser economicamente viável, pois o custo das matérias-primas é inferior. Assim, a maior parte desses resíduos são depositados em aterro, originando emissões poluentes, sem qualquer aproveitamento, quando poderia ser aproveitada o conteúdo energético que alguns destes resíduos podem conter recorrendo a vários processos (incineração com recuperação de energia, compostagem com o aproveitamento do composto e valorização material). Deste modo, é cada vez mais óbvia a necessidade de não se encarar os resíduos como materiais indesejáveis, mas sim como recursos valorizáveis.

O 7º Quadro Comunitário de Apoio disponibiliza meios financeiros a atribuir mediante programas candidatos ao QREN, tendo como objectivo uma utilização mais eficiente e limpa dos recursos territoriais, de qualificação e emprego. Neste âmbito, entre outros aspectos, é necessário:

- a) aproveitar os recursos de energia presentes nos resíduos (urbanos e industriais não perigosos) da Região Centro;
- b) criar um plano estratégico regional de gestão sustentável que considere de uma forma integrada e sustentável os objectivos e metas da EU para a valorização material e deposição de resíduos urbanos biodegradáveis (RUB) em aterro;
- c) aproveitar de todas as formas de energia endógena,

Este trabalho tem como principal objectivo a identificação de uma estratégia de gestão integrada de resíduos urbanos e resíduos industriais não perigosos, sendo o caso de estudo a região Centro de Portugal Continental. Esta estratégia de gestão integrada de resíduos foi desenvolvida com vista a optimização das soluções técnicas de tratamento conjunto desses resíduos, avaliando os impactes ambientais face ao destino aterro.

2 Metodologia de trabalho

2.1 Descrição geral

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho consistiu, numa primeira fase, na identificação e caracterização da área geográfica objecto do estudo, na pesquisa de inventário dos resíduos urbanos e industriais produzidos na Região Centro ao nível das quantidades, tipologias e localização por município.

Numa fase seguinte foram concebidos um conjunto de diferentes cenários de gestão, identificadas as infra-estruturas de gestão e quantificado o esforço de recolha e transporte.

Numa fase final foi realizada uma avaliação ambiental dos diferentes cenários com base na aplicação informática Umberto para a realização do inventário de emissões para o ambiente e finalmente o cálculo dos impactes ambientais associadas a cada cenário, usando a metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV).

Os dados a inserir na aplicação Umberto e os resultados daí obtidos, foram tratados com o auxílio da ferramenta Excel, do Microsoft Office.

Para os diferentes cenários de tratamento de resíduos urbanos foram usados os processos de reciclagem, compostagem, incineração e também deposição em aterro. Para os resíduos industriais apenas foram utilizados os processos de incineração e aterro.

Assim, para os resíduos urbanos foram identificados três cenários:

- Cenário 1 – Situação actual (reciclagem material, reciclagem orgânica e eliminação em aterro);
- Cenário 2 – Estratégia PERSU II, 2016 (reciclagem material e orgânica, sendo para estes processos os resíduos provenientes da recolha selectiva e do tratamento mecânico-biológico, incineração e aterro; do tratamento mecânico-biológico também são originados CDR);
- Cenário 3 – estratégia proposta/alternativa (reciclagem material e reciclagem orgânica (compostagem doméstica e compostagem municipal), incineração e aterro.

Para os resíduos industriais foram criados dois cenários:

- Cenário #1 – Situação actual (todos os resíduos são depositados em aterro);

- Cenário #2 – Modelo proposto (os RINP com interesse para valorização energética são tratados por incineração e os restantes RINP são depositados em aterro).

2.2 Descrição dos cenários

2.2.1 Resíduos Urbanos

2.2.1.1 Cenário 1 -Situação actual

Este cenário foi criado para representar o que acontece actualmente. Na sua maioria, os resíduos provenientes da recolha indiferenciada têm como destino final o aterro, sem passarem por qualquer tipo de tratamento. Embora este cenário não se considere aceitável, dado que não cumpre as obrigações de gestão a que Portugal está sujeito no âmbito na União Europeia, este serve para fins comparativos, já que é o que se aproxima da realidade actual.

A informação obtida acerca da produção de resíduos em cada concelho, não estava diferenciada em resíduos provenientes da recolha selectiva e resíduos provenientes da recolha indiferenciada. Como para o trabalho em questão essa informação era relevante, foi necessário seguir uma metodologia em que se considerou que a percentagem de resíduos indiferenciados e diferenciados presentes no RU é igual para todo o país. Assim, a partir de informação retirada do site da Sociedade Ponto Verde (SPV) e do relatório PERSU II, foi possível saber qual a percentagem de cada componente de resíduos provenientes da recolha selectiva reciclada em Portugal. Essa informação está resumida na Tabela 2.1 e foram utilizadas as equações 2.1, 2.2 e 2.3 para completar essa informação. Foi assumido que a triagem dos resíduos recicláveis gera uma quantidade de refugos de 10%. Foi também assumido um valor de 4.500.000 toneladas para a produção de RU em Portugal, para o ano de 2005 (PERSU II, 2006).

Assim, a partir da equação 2.1, obtém-se a quantidade de resíduos provenientes da recolha selectiva (Q_{er_i}),

$$Q_{er_i} = Q_{r_i} \cdot 10\% \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Com a equação 2.2 obteve-se a percentagem de recolha selectiva em Portugal (Pr_i),

$$Pr_i = \frac{Q_{er_i}}{45000000} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 2.2})$$

A percentagem de cada componente i dos resíduos recicláveis na totalidade desses resíduos ($P_{i,d}$) foi obtida a partir da equação 2.3,

$$P_{i,d} = \frac{Pr_i}{\sum Pr_i} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Tabela 2.1 - Quantidades e percentagens de recicláveis em Portugal (fonte: www.pontoverde.pt)

Componentes (i) [ton]	Quantidades recicladas (Q_r) [ton]	Quantidades de recolha selectiva ($Q_{r,i}$) [ton]	% de recolha selectiva (Pr_i)	% de recicláveis nos diferenciados ($P_{i,d}$)
Plástico	24860	27346	0,6	0,07
Metal	31200	34320	0,8	0,09
Papel/cartão	165013	181514	4,0	0,47
Vidro	133292	146621	3,3	0,38
Total	354365	389802	8,7	1,00

Assim, observando os resultados obtidos na Tabela 2.1 verifica-se que 8,7% dos RU são recolhidos selectivamente, onde 10% são refugos resultantes da triagem e 90% são enviados para reciclagem material.

A partir de estudos anteriores (Rodrigues, N. et al., 2006) verificou-se que, para a Região Centro, dos 91,3% dos resíduos provenientes da recolha indiferenciada, apenas 1,2% tem como forma de tratamento a compostagem, sendo os restantes 90,1% eliminados directamente em aterro.

2.2.1.2 Cenário 2 – Estratégia PERSU II (ano 2016)

Este cenário teve como base as metas definidas no documento do PERSU II para o ano de 2016 (Figura 2.1).

Assim, foi considerada uma recolha selectiva de 36%, em que 18% destina-se a reciclagem material e os restantes 18% a reciclagem orgânica. Dos 64% provenientes da recolha indiferenciada, estes irão sofrer tratamento mecânico-biológico, onde 18% serão enviados para compostagem, 30% para a produção de CDR, 6% para reciclagem material e 10% para aterro (PERSU II, 2006).

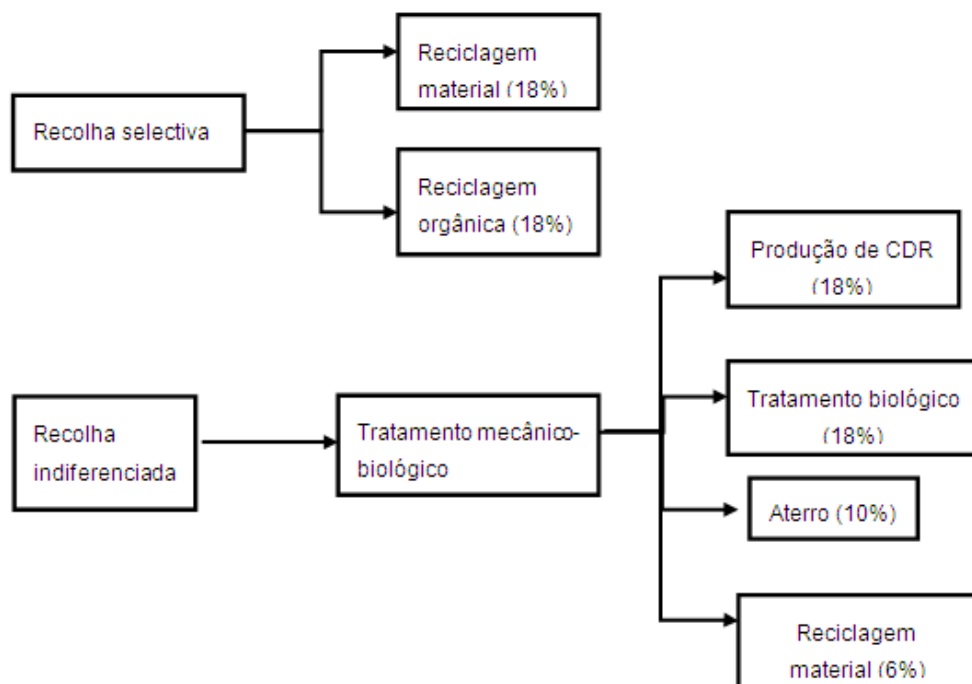


Figura 2.1 - Metas e objectivos para o destino dos RU para o ano de 2016 (adaptado de: PERSU II, 2006)

Para este cenário considerou-se que iria existir apenas uma estação de tratamento mecânico-biológico na zona industrial da Pedrulha, localizada na freguesia de Casal Comba, pertencente ao município da Mealhada, distrito de Aveiro (Figura 2.2).

Esta foi a localização escolhida dado estar muito próxima (cerca de 800 metros) de um dos nós de acesso à Auto-estrada nº1, tem uma vasta área disponível (cerca de 35 hectares) e geograficamente localiza-se no centro da área de estudo. No **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** pode observar-se a localização mais pormenorizada desta zona industrial no território nacional (Câmara Municipal da Mealhada, estudo de impacte ambiental, 2005).

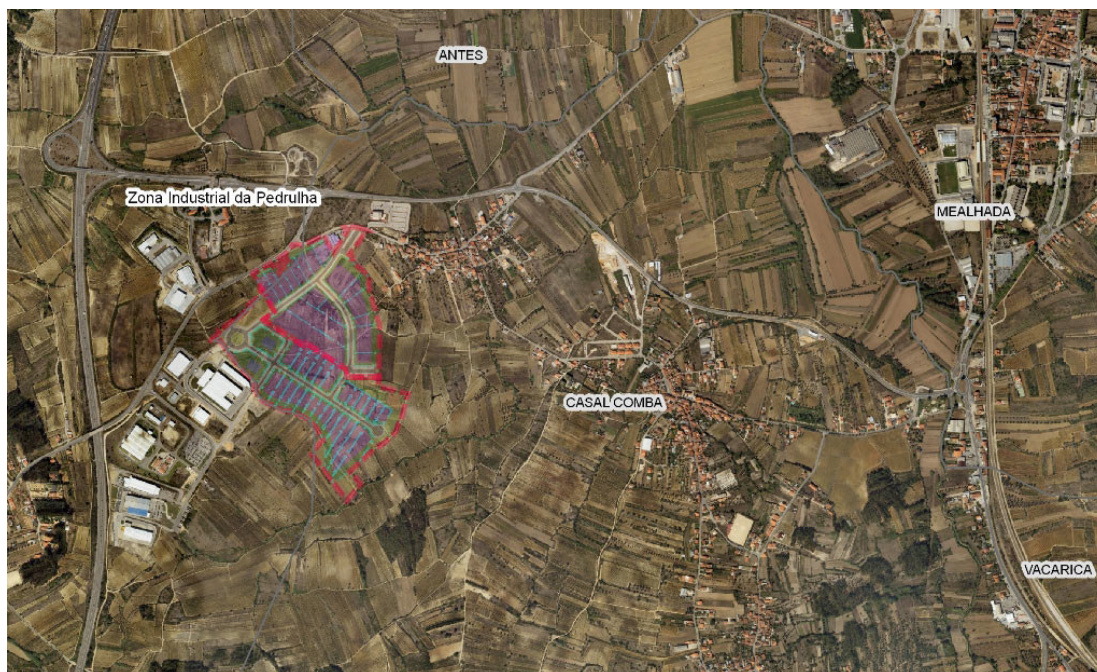


Figura 2.2 – Localização geográfica da zona industrial da Pedrulha (fonte: www.cm-mealhada.pt)

Devido às grandes distâncias a que alguns municípios estariam sujeitos para transportar os resíduos até à zona industrial da Pedrulha, optou-se por excluí-los da área de estudo, diminuindo assim a quantidade de resíduos a tratar. Estes municípios, no futuro, poderiam fazer parte das linhas de tratamento da VALORSUL (Mação, Vila de Rei, Vila Velha do Ródão e Porto de Mós) e da Lipor (São Pedro do Sul, Castro Daire, Ovar, Meda e Figueira de Castelo Rodrigo).

Também para o tratamento mecânico-biológico foram retiradas algumas quantidades de alguns concelhos que se situam geograficamente muito distantes dos locais de tratamento (zona industrial da Pedrulha) e que apresentam uma produção de resíduos relativamente baixa, não justificando os encargos que se iria ter com o transporte. Assim, estes municípios continuam com o destino final aterro para os resíduos indiferenciados, sem qualquer tipo de tratamento. Estes municípios são o município de Almeida, Pinhel, Sabugal, Celorico da Beira, Fornos de Algodres, Manteigas, Penamacor, Idanha-a-Nova, Belmonte e Sátão.

2.2.1.3 Cenário 3 – Estratégia proposta/alternativa

Esta estratégia proposta surge como alternativa para comparação com os cenários anteriores, sendo a principal diferença a introdução do tratamento térmico como tratamento único dos indiferenciados. Este cenário contempla também que os resíduos destinados a tratamento biológico são sujeitos a compostagem doméstica e a

compostagem municipal, em vez de compostagem centralizada, com o objectivo de diminuir o esforço da recolha destes resíduos.

Assim sendo, para o cenário 3 considerou-se uma recolha selectiva de 45%, sendo 20% destinados a reciclagem material e 25% a reciclagem orgânica (30% compostagem doméstica e 70% compostagem municipal). A recolha indiferenciada tem um peso de 55%, sendo todos os resíduos enviados para incineração, já que os resíduos indesejados para este processo já foram na sua maior parte separados na fonte. Na Figura 2.3 pode observar-se esquematicamente o cenário 3.

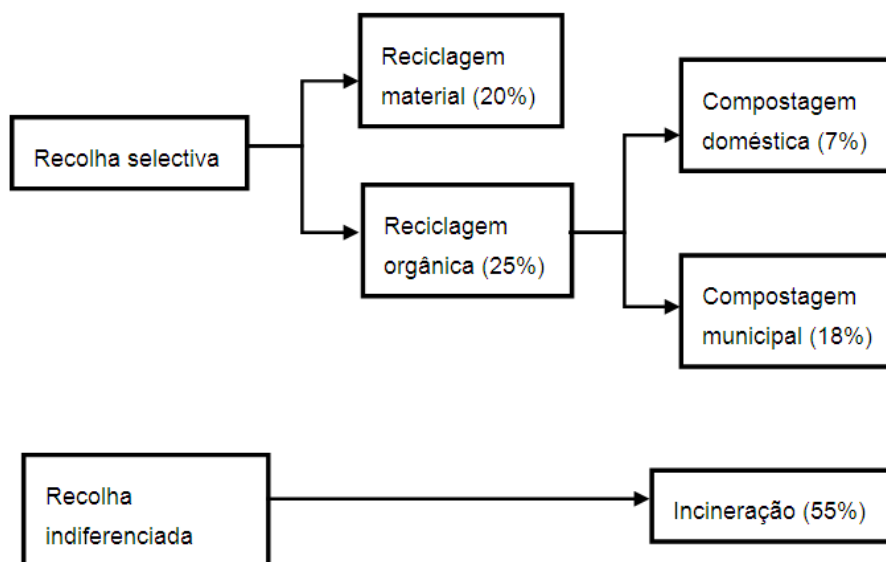


Figura 2.3 - Percentagens de destinos finais para os RU no cenário 3

Tal como no cenário 2, neste cenário também foram retirados os mesmos concelhos pelos motivos já referidos. A instalação de incineração teria a sua localização também na zona industrial da Pedrulha.

2.2.2 Resíduos industriais não perigosos

As informações acerca das quantidades produzidas de RINP em cada município bem como das quantidades de cada tipologia de código LER produzidos na Região Centro foram obtidas a partir de um estudo da produção de RINP efectuado pela CCDR Centro, para o ano de 2005 (Braga, I.D., 2006).

2.2.2.1 Cenário #1 – situação actual

Actualmente o cenário para a gestão de RINP não é o mais favorável. A totalidade destes resíduos é depositada em aterro, sendo assim desperdiçados os recursos energéticos que estes resíduos nos poderiam proporcionar.

Como já foi referido anteriormente, os RINP produzidos na região Centro são depositados em dois aterros: RESILEI, localizado em Leiria e outro localizado em Castelo Branco, sendo este último propriedade da empresa construtora Lena. Por falta de informação não foi possível saber na realidade em que aterro são depositados os RINP das empresas de cada município. Assim, os RINP foram distribuídos pelos aterros de acordo com a sua proximidade geográfica aos mesmos. Essa distribuição pode ser observada no **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

2.2.2.2 Cenário #2 – Estratégia proposta

A estratégia proposta para os RINP assenta principalmente no aproveitamento da energia que estes nos podem fornecer através da incineração dos mesmos. Assim, como já foi referido anteriormente, foi feita uma selecção dos RINP com potencial para valorização energética. Tal como nos RU, também foi considerada a localização da instalação de incineração para RINP na zona industrial da Pedrulha.

Para o cálculo da quantidade de resíduos com valorização energética produzida em cada município ($Q_{inc,j}$) utilizou-se a equação 2.4,

$$Q_{inc,j} = \sum R_{LER,i} \cdot \frac{R_{INP,j}}{\sum R_{INP,j}} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

Para ser possível “localizar” a produção de RINP com interesse para valorização energética em cada município, calculou-se através da equação 2.5 uma fracção da relação de cada código LER ($I_{LER,inc,i}$) seleccionado com quantidade total de RINP para incineração seleccionados,

$$I_{LER,inc,i} = \frac{R_{LER,i}}{\sum R_{LER,i}} \quad (\text{Eq. 2.5})$$

Seguidamente, utilizaram-se as fracções obtidas para calcular a produção de cada RINP com código LER_i em cada município ($Q_{LER,inc,i,j}$), utilizando-se então a equação 2.6.

$$Q_{LER,inc,i,j} = R_{inc,i} \cdot I_{LER,inc,i} \quad (\text{Eq. 2.6})$$

Todos os resultados são apresentados no **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

2.3 Aplicação da ACV aos resíduos

2.3.1 Objectivo

Este trabalho tem como objectivo principal determinar impactes ambientais associados às operações de gestão de resíduos em diferentes modelos de gestão (cenários) para a Região Centro de Portugal Continental, tendo por base as produções de resíduos referentes ao ano de 2006 para os RU e 2005 para os RINP.

Para este efeito foram estudados os seguintes pontos:

- a situação actual dos RU e dos RINP através da inventariação dos resíduos produzidos dentro da área de abrangência de 79 concelhos para os RU e 77 concelhos para os RINP;
- a definição de três cenários para os resíduos urbanos (situação actual, estratégia PERSU II e estratégia proposta) e dois cenários para os resíduos industriais não perigosos (situação actual e estratégia proposta);
- a determinação de uma forma aproximada o esforço de recolha, alocação e transporte dos RU tendo por base o período de um ano; para os RINP apenas foi determinado o esforço de transporte;
- o inventário de emissões para cada cenário com o auxílio da aplicação Umberto, para posterior comparação dos impactes ambientais em cada cenário.

2.3.2 Âmbito

2.3.2.1 Função do sistema

A função do sistema em estudo é a gestão de RU e RINP tendo em consideração as quantidades e características dos resíduos processados, desde o “berço” até ao “túmulo” para a Região Centro de Portugal Continental.

Considera-se que o “berço” dos resíduos em estudo é o momento em que estes deixam de ter valor para o produtor e são depositados nos respectivos contentores.

Entende-se por “túmulo” a deposição final dos resíduos pelas entidades responsáveis pela sua gestão.

2.3.2.2 Unidade funcional

A unidade funcional do sistema é a quantidade de resíduos que serve de suporte ao cálculo do inventário de emissões e que por sua vez está relacionada com a área servida. Para este estudo foram consideradas cerca de 700.000 toneladas para os RU e 2.600.000 toneladas para os RINP.

2.3.2.3 Fronteiras do sistema

As fronteiras de sistema para a gestão dos resíduos em estudo estão representadas na Figura 2.4, qual engloba todos os tipos de operações a que os resíduos sólidos podem ser submetidos. Através da fronteira do sistema ocorre a entrada de resíduos e energia, e a saída de emissões para o ambiente, energia produzida e materiais reciclados.

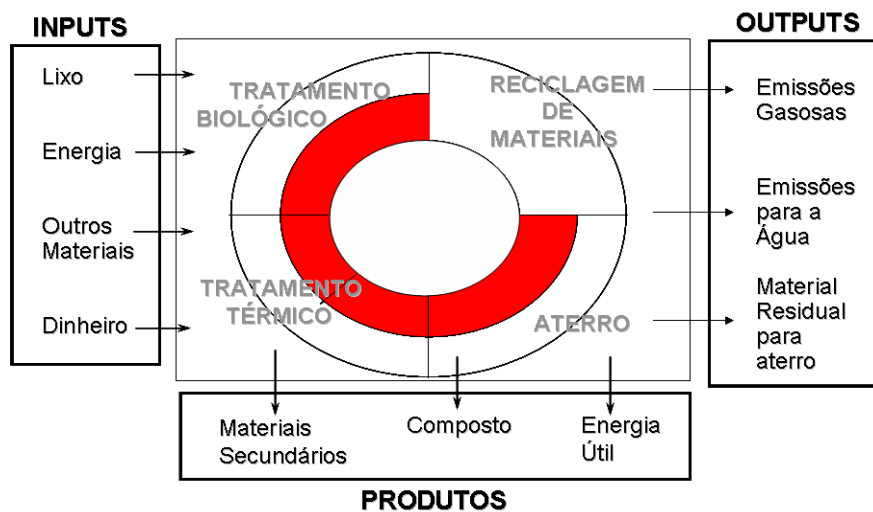


Figura 2.4 – Fronteiras de um sistema de gestão integrada de resíduos (adaptado de: McDougall, F., 2001)

2.3.2.4 Requisitos e qualidade dos dados

A qualidade de um estudo de ACV apenas é garantida quando é garantida a qualidade da informação em que esta se baseia.

Para este trabalho, tentou-se que a recolha de dados tivesse a melhor qualidade possível, sendo usados dados das entidades competentes relacionadas com os objectivos do estudo e literatura específica e técnica.

O processo de tratamento de dados e de cálculo é apresentado no capítulo de cálculo da ACV.

2.3.2.5 Tipo e avaliação de impactes ambientais

Dependendo do processo em estudo podem ser consideradas várias categorias de impacte ambientais.

As categorias de impacte mais comuns são: potencial de aquecimento global (PAG), potencial de acidificação (PA), potencial de eutrofização (PE), toxicidade humana (TH), ecotoxicidade aquática (ECA), ecotoxicidade terrestre (ECT), potencial de depleção de ozono estratosférico (PDOE), potencial de formação de oxidantes fotoquímicos (PFOF) e potencial de depleção de recursos abióticos (PDA). Os efeitos ambientais associados a essas categorias de impacte podem ser observados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Categorias de impacte mais comuns e os respectivos efeitos no ambiente (adaptado de: Pereira, A., 2005)

Categoria de impacte	Natureza dos impactes
Potencial de aquecimento global	Fusão dos calotes polares, extremos climáticos, alterações dos padrões de ventos e correntes oceânicas, desertificação, alteração das zonas florestais
Potencial de depleção da camada de ozono	Aumento da radiação UV-B à superfície da Terra, de risco de melanomas, de destruição da micro fauna oceânica, d degradação do património construído
Potencial de depleção de recursos abióticos	Diminuição dos recursos naturais (materiais, energéticos)
Potencial de formação de oxidantes fotoquímicos	Diminuição da visibilidade, aumento de doenças dos olhos, respiratórias (asma, pulmões) e cardiovasculares, degradação das plantas vasculares
Potencial de acidificação	Degradação do património construído (corrosão), acidificação dos solos e dos habitats aquáticos, degradação da flora
Toxicidade humana	Aumento da morbilidade e mortalidade humanas
Ecotoxicidade terrestre	Diminuição da biodiversidade, produtividade vegetal e da área dos ecossistemas naturais
Ecotoxicidade aquática	Diminuição da biodiversidade e produtividade da fauna e micro fauna
Potencial de eutrofização	Diminuição do oxigénio dissolvido no habitat aquático pela vegetação devido ao excesso de nutrientes

2.4 Descrição da aplicação Umberto

O Umberto é uma ferramenta de gestão ambiental que permite a análise de ciclo de vida e análise de fluxo de materiais e energia, calculando o inventário de emissões. Foi desenvolvido pelo IfEU (Instituto de Pesquisa Ambiental e Energética da Universidade de Heidelberg) e pelo IfU (Instituto de Informática Ambiental da Universidade de Hamburgo).

Os principais objectivos da utilização do Umberto nas empresas são identificar pontos cruciais para a optimização dos processos no sistema de produção, reduzir os recursos de materiais e energia, minimizar as quantidades de emissões poluentes e, como consequência, reduzir os custos.

Baseado no conceito de redes de fluxo de materiais, esta ferramenta utiliza as redes de Petri (do matemático Carl Adam Petri). De acordo com os princípios dessas redes, existem três tipos básicos de componentes para criar uma rede de fluxo de materiais: as transições, os lugares e as setas (Figura 2.5).

Transições são os locais em que os processos de transformação ocorrem e são representados por um quadrado.

Lugares são locais onde não ocorrem transformações de materiais, mas sim armazenamento de materiais ou locais de entrada e saída de materiais. Eles conectam a rede de fluxo de materiais com o seu ambiente externo, ou são lugares onde o fluxo de saída de um processo se torna o fluxo de entrada do processo seguinte. Os lugares são representados por círculos, diferenciados em quatro tipos: lugares de entrada, de saída, de armazenamento (interligam dois processos sem usar qualquer ponto intermediário para armazenar) e de conexão (distribuem os fluxos, ou seja, a quantidade que neles chega é igual à quantidade que deles sai).

As setas unem lugares e transições e, portanto, criam as verdadeiras estruturas da rede. Estas mostram ainda a direcção do fluxo de materiais e energia. As setas podem ir de um lugar para uma transição ou vice-versa (não é possível ligar componentes do mesmo tipo com uma seta).

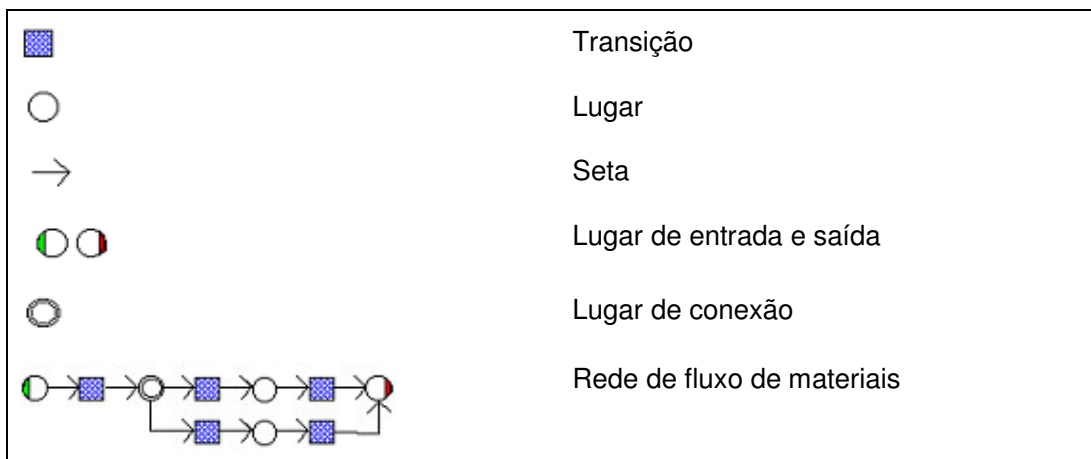


Figura 2.5 – Componentes de uma rede de fluxo de materiais (adaptado de: Möller, R., 1995)

A estrutura da rede por si só não é suficiente para o cálculo do balanço. São necessárias informações sobre os tipos e quantidades de materiais que devem ser

fornecidos ao sistema. Esses dados são chamados de especificações. Nas especificações das transições (processos) deve ser definido que lugares fornecem que materiais e para que destino devem ser enviados. Além disso, a relação entre as quantidades de entrada e de saída deve ser indicada, ou seja, um fluxo manual deve ser introduzido. As relações de entrada e de saída podem ser lineares ou não lineares. Um outro factor que deve ser definido é a abrangência temporal do balanço. As especificações devem possuir uma base temporal comum de modo a permitir a comparação e execução do balanço.

2.4.1 Bases de dados existentes no Umberto

A aplicação Umberto contém uma “biblioteca” com vários processos que podem ser usados pelo utilizador. Estes processos possuem características (coeficientes de relação, tipos de infra-estruturas, funções de cálculo, etc.) já definidas e que permitem ao utilizador introduzir pouca informação acerca desses processos e mesmo assim obter um inventário muito completo. As bases de dados existentes no Umberto têm como fonte outras bases de dados como o UBA Berlin (Agência Federal do Ambiente de Berlim), o BUWAL Bern (Agência Suíça para o Ambiente, Florestas e Paisagens) e o modelo Tremod (Modelo de emissões do transporte) (Umberto, 2008).

2.4.1.1 Transporte

Este módulo descreve o transporte de bens em veículos. É possível escolher entre seis classes diferentes de tamanho do veículo. O veículo é operado com um motor a diesel e exige gasóleo como combustível. Os parâmetros que devem ser indicados são a distância de transporte, o factor de carga da viagem de ida (% em relação ao peso), o factor de carga da viagem de volta (% relativa ao peso), o tipo de veículo (1-6) e as distâncias (em %) percorridas em auto-estradas, estradas secundárias e estradas municipais.

Quando a transição é importada da biblioteca devem ser inseridos (input) os bens e as respectivas quantidades a serem transportados a partir de uma caixa de diálogo. Com a importação da transição, também são importados todos os materiais de entrada (input) e saída (output) relacionados com esse processo, os quais devem ser “alocados” aos lugares de onde vêm e para onde devem ir (Figura 2.6).

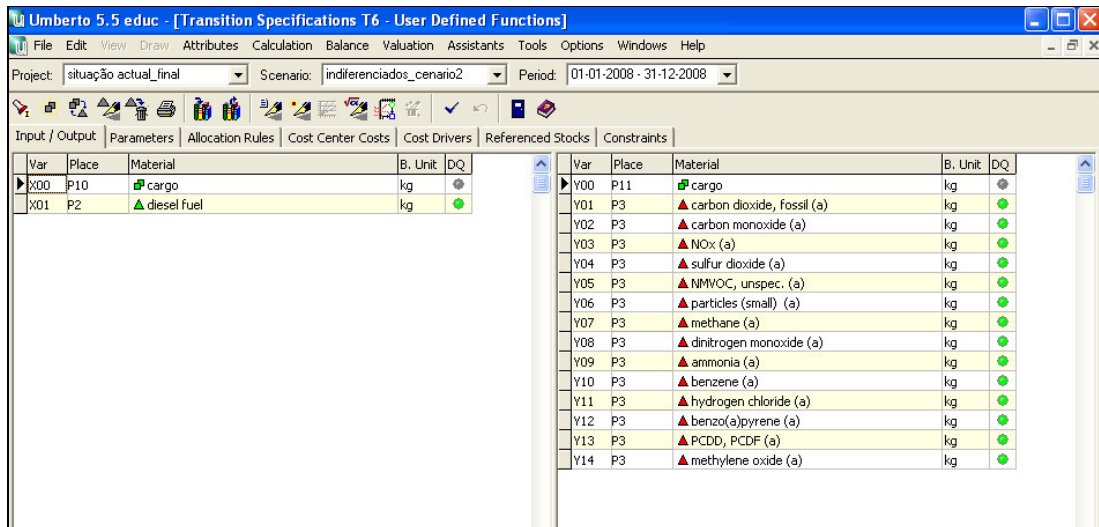


Figura 2.6 – Caixa de diálogo de input/output para a transição transporte no Umberto

O módulo transporte trabalha com um material genérico denominado no programa por “carga”. Isto significa que considera todos os materiais que vêm de um lugar como um bem e junta-os. Com esta característica, um lugar ligado a esta transição deve fornecer exclusivamente “bens”.

A série de dados deste módulo é baseada nos dados padrão de consumo e de emissões para veículos na República Federal da Alemanha (ano de referência de 1996).

Foram seleccionadas três situações típicas como categorias de estradas:

- Auto-estradas alemãs com uma velocidade média de 83,6 km/h;
- Estradas secundárias com uma velocidade média de 64,7 km/h;
- Estradas municipais com uma velocidade média de 27,3 km/h.

Para cada caso específico, o utilizador pode aplicar uma proporcionalidade entre essas três categorias.

Na Tabela 2.3 podem ser observadas as diferentes classes existentes para os veículos.

Tabela 2.3 – Caracterização das classes para os tipos de veículos (adaptado de: Umberto, 2008)

Classes	Peso total admissível [ton]	Carga útil máxima [ton]
1	Camião 3,5-7,5	3,8
2	Só camião 14-20	8,6
3	Só camião > 20	15,3
4	Tractor e reboque <32	20,5

5	Tractor e reboque> 32	28
6	Camião de tamanho médio	17,5

Na Figura 2.7 pode observar-se a caixa de diálogo onde o utilizador pode verificar e alterar todos os parâmetros do tipo de transporte em questão.

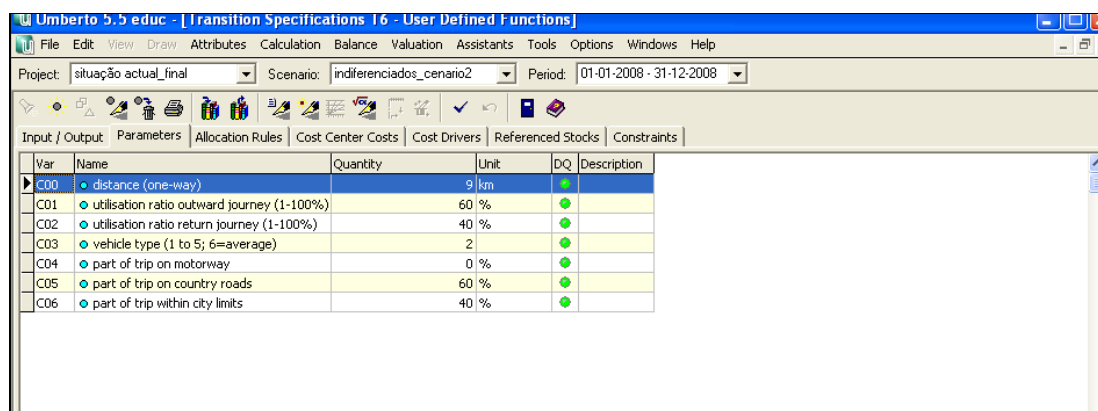


Figura 2.7 - Caixa de diálogo de parâmetros da transição transporte no Umberto

2.4.1.2 Estação de Triagem

Nesta transição é descrita a separação de materiais valorizáveis misturados (por exemplo, dos contentores de RU). O utilizador pode determinar a composição de materiais valorizáveis no meio do vidro, papel, metais e plásticos.

Também neste módulo, a série de dados é baseada nos dados padrão de consumo e de emissões para camiões na República Federal da Alemanha (ano de referência de 1993).

O consumo de electricidade para a triagem varia com a composição dos materiais valorizáveis. A fracção de cada material valorizável é multiplicada por um consumo de electricidade específico por tonelada. Esse consumo pode ser observado na Tabela 2.4 para cada componente.

Tabela 2.4 – Consumo de energia eléctrica para cada componente na transição da estação de triagem no Umberto

Componente valorizável	Consumo [kWh/ton]
Vidro	36
Papel/Cartão	43,5
Metal	30
Plásticos	33

Em conjunto com o consumo de electricidade uma certa quantidade de gasóleo é usada para a triagem dos materiais. Foi assumido assim um valor fixo por tonelada de mistura de materiais.

Em quase todas as transições existentes na biblioteca do Umberto é possível modificar as funções ou os coeficientes de relação utilizados nos cálculos envolvidos nessa transição. Assim, o utilizador tem maior facilidade em adaptar o processo importado às necessidades de um estudo específico. Na Figura 2.8 pode ser observada a caixa de diálogo em que as funções podem ser alteradas pelo utilizador nesta transição.

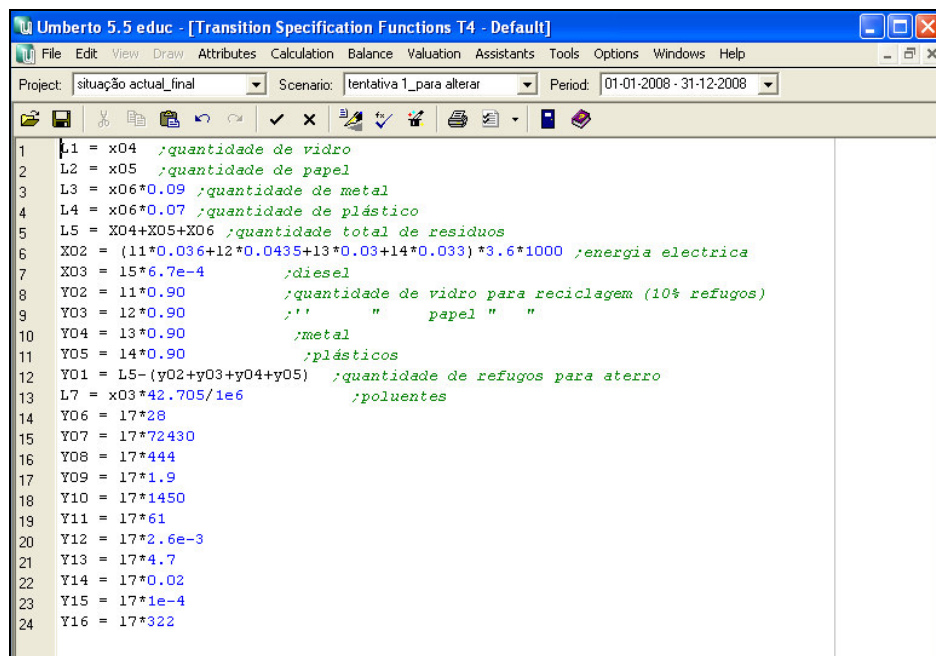


Figura 2.8 – Caixa de diálogo com as funções de cálculo da transição de estação de triagem do Umberto

2.4.1.3 Compostagem

Esta transição descreve o funcionamento de uma instalação de compostagem “high-tech” de resíduos orgânicos domésticos, bem como as emissões e o consumo de materiais associados.

A série de dados usada aplica-se apenas a resíduos orgânicos domésticos, com uma composição típica de resíduos produzidos na Alemanha.

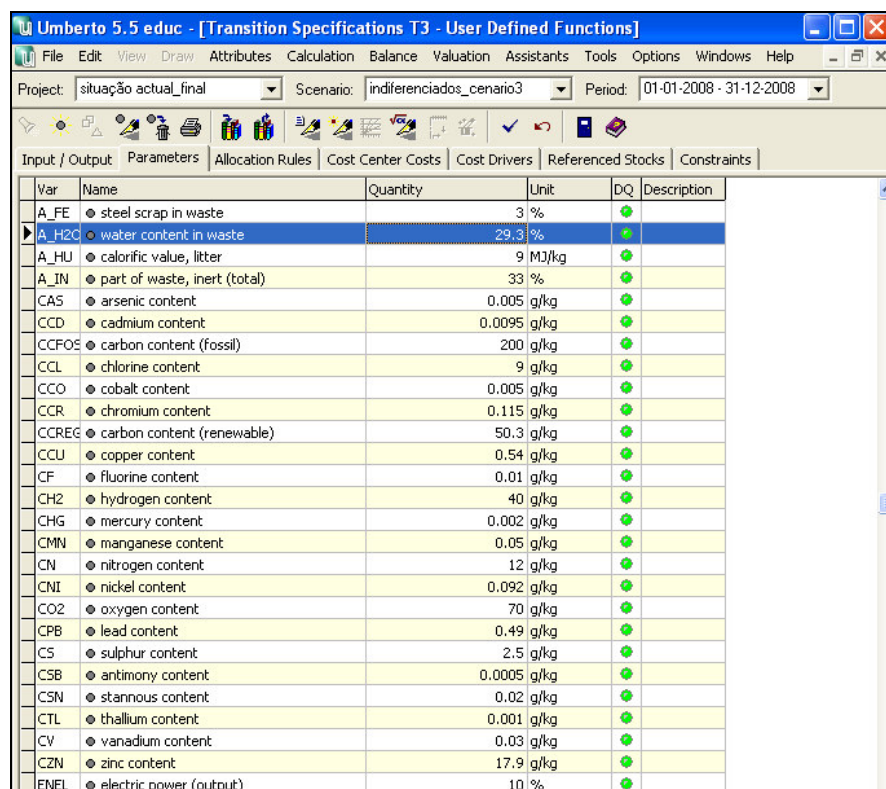
A compostagem “high-tech” é caracterizada por um sistema fechado e independente em que todo o ar residual é recolhido e passado através de um sistema de biofiltro.

2.4.1.4 Incineração

Esta transição descreve o processo de incineração de RU numa instalação de incineração de RU com combustão em grelha. Este tipo de tecnologia representa a média de instalações em funcionamento na Alemanha na actualidade. A tecnologia de limpeza de gases de escape assegura a conformidade com os valores limite de emissão na Alemanha para instalações deste tipo.

As emissões gasosas têm como saída principal uma chaminé. Outros fluxos de materiais resultantes são os resíduos da incineração e os produtos resultantes do tratamento de efluentes gasosos.

Esta transição é indicada para a incineração de resíduos com características específicas. Entre estas características está o poder calorífico do resíduo que deverá ter um valor que varia de 5-14 MJ/kg e não poderá conter qualquer tipo de resíduo perigoso. Os restantes parâmetros que caracterizam o resíduo são válidos para um resíduo com um PCI médio de 9 MJ/kg. No entanto, esses parâmetros podem ser modificados pelo utilizador. Na Figura 2.9 pode observar-se a caixa de diálogo onde se encontram e podem ser alterados esses parâmetros.



Var	Name	Quantity	Unit	DQ	Description
A_FE	steel scrap in waste	3	%	✓	
A_H2O	water content in waste	29.3	%	✓	
A_HU	calorific value, litter	9	MJ/kg	✓	
A_IN	part of waste, inert (total)	33	%	✓	
CAS	arsenic content	0.005	g/kg	✓	
CCD	cadmium content	0.0095	g/kg	✓	
CCFOS	carbon content (fossil)	200	g/kg	✓	
CCL	chlorine content	9	g/kg	✓	
CCO	cobalt content	0.005	g/kg	✓	
CCR	chromium content	0.115	g/kg	✓	
CCREG	carbon content (renewable)	50.3	g/kg	✓	
CCU	copper content	0.54	g/kg	✓	
CF	fluorine content	0.01	g/kg	✓	
CH2	hydrogen content	40	g/kg	✓	
CHG	mercury content	0.002	g/kg	✓	
CMN	manganese content	0.05	g/kg	✓	
CN	nitrogen content	12	g/kg	✓	
CNI	nickel content	0.092	g/kg	✓	
CO2	oxygen content	70	g/kg	✓	
CPB	lead content	0.49	g/kg	✓	
CS	sulphur content	2.5	g/kg	✓	
CSB	antimony content	0.0005	g/kg	✓	
CSN	stannous content	0.02	g/kg	✓	
CTL	thallium content	0.001	g/kg	✓	
CV	vanadium content	0.03	g/kg	✓	
CZN	zinc content	17.9	g/kg	✓	
ENEL	electric power (output)	10	%	✓	

Figura 2.9 - Caixa de diálogo dos parâmetros da transição incineração no Umberto

Os fluxos de emissões, resíduos e materiais auxiliares necessários são calculados com base na composição do resíduo. Isto significa que a transição modela apenas fluxos materiais directos associados com o resíduo do “input” da transição. É feita uma diferenciação entre os componentes das emissões gasosas relacionadas com o processo de incineração e aqueles que são relativos à composição definida no input.

O cálculo da energia produzida (electricidade+calor) é baseado no poder calorífico inferior do resíduo em base tal e qual. Resíduos com poder calorífico inferior elevado estão relacionados com uma maior produção de energia. Os parâmetros de saída para a energia são ajustados a 10% para a electricidade e a 30% para o calor, em relação ao PCI de entrada. Estes parâmetros representam a situação actual na Alemanha.

A instalação descrita nesta transição é equipada com incinerador de grelha que representa a tecnologia mais avançada.

2.4.1.5 Aterro

Por vezes existem processos que exigem sistemas com maior complexidade ou uma rede de fluxo de maior tamanho. Com situações destas, a compreensão do sistema fica comprometida, sendo necessário modelar este tipo de processos noutros níveis hierárquicos que permitam “esconder” partes da rede. O Umberto permite este tipo de modelações denominadas “sub-redes” (CEIFA ambiente, 2006).

A transição do aterro é um destes casos, que envolve vários processos, e então encontra-se como uma sub-rede na biblioteca do Umberto. Na Figura 2.10 pode observar-se a sub-rede da transição aterro.

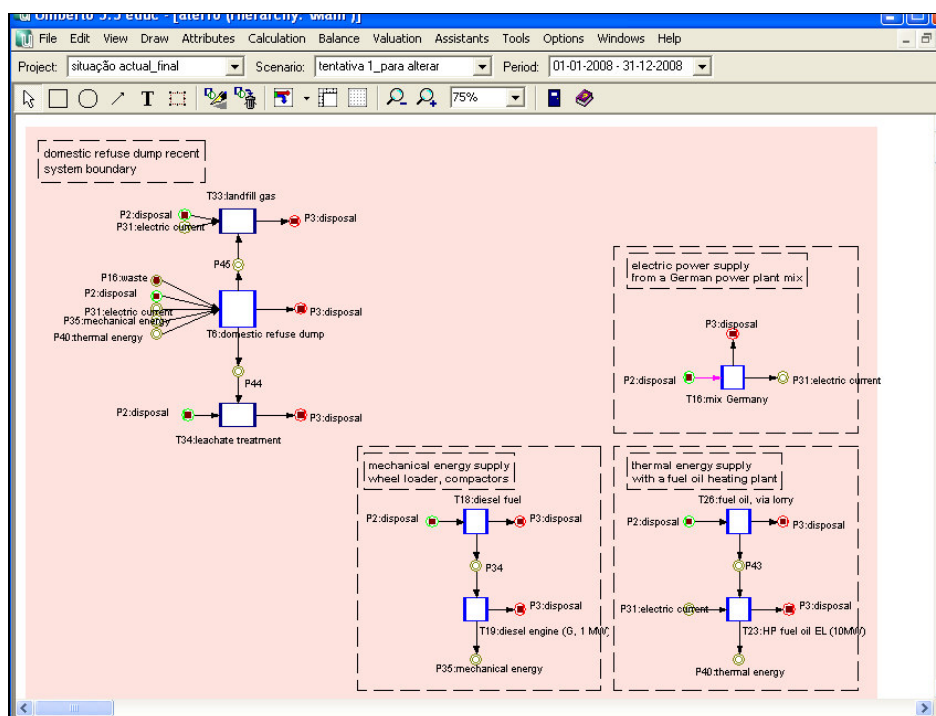


Figura 2.10 - Sub-rede da transição aterro do Umberto

Esta transição descreve um processo de decomposição de resíduos domésticos ou resíduos similares a resíduos domésticos num local de operação de um aterro sanitário, bem como as emissões e consumo de materiais auxiliares associados ao processo. Como em todos os outros processos, é descrito um padrão técnico médio de aterros da Republica Federal da Alemanha.

Os dois principais tipos de emissões deste processo são os lixiviados e as emissões gasosas resultantes da decomposição do resíduo. Os lixiviados são provenientes da água existente no resíduo e da precipitação que possa ocorrer no local. As emissões gasosas resultam da degradação anaeróbia da matéria orgânica.

As emissões gasosas são calculadas através da determinação do índice de carbono orgânico disponível no resíduo. A quantidade do gás de aterro é calculada usando o índice de carbono biologicamente degradável do resíduo. A quantidade de lixiviado produzido é relacionada com a quantidade de resíduo que é depositada. Foi seleccionado um período de 50 anos como o período de referência para as emissões de lixiviados. Os primeiros 5 anos correspondem à fase ácida. O horizonte de 50 anos é justificado pela necessidade de um período de tratamento e manutenção posterior.

2.4.2 Aplicação do Umberto ao caso de estudo

Neste caso de estudo a utilização do Umberto é uma ferramenta importante e muito útil pois permite obter um inventário de ciclo de vida bastante completo, sem ser necessária uma descrição exaustiva do material de entrada.

Foi construída uma rede de fluxo de materiais para cada cenário. Essa rede de fluxo de materiais representa um sistema de gestão com os vários processos envolvidos (recolha e transporte, estação de triagem, unidade de compostagem, instalação de incineração e aterro). Sempre que foi possível, foram modificados adequadamente os parâmetros em cada processo, de acordo com as necessidades do caso de estudo. Depois da inserção de todos os materiais (resíduos) de entrada, foi possível através de uma ferramenta de cálculo da aplicação, obter o inventário de emissões e energias (entradas de saídas de resíduos sólidos, emissões para a água, emissões gasosas, combustíveis consumidos e energia gerada nos processos).

2.4.3 Exemplos de aplicações do Umberto

Para além de ser uma ferramenta muito útil para gestão de resíduos, o Umberto também se aplica a outros tipos de estudos. Como exemplos temos aplicações do Umberto em estudos de “Reciclagem mecânica e química de PET” (Ceifa, 2007), “Análise e optimização de redes integradas de produção” (Brünner, H, 2007), “Decisão suportada através da Gestão de Fluxo de Materiais e Energia no sector de acabamento de veículos” (Geldermann, J. et al, 2004), entre outros.

2.4.4 Limitações do Umberto

Neste trabalho foi utilizada a versão 5.5 Educ, uma versão com fins educacionais.

Como qualquer outra ferramenta, também esta tem algumas limitações (www.umberto.de):

- cada rede de fluxo de materiais pode conter apenas 20 transições por cenário com dois níveis possíveis (rede e sub-rede);
- um projecto só pode conter até 300 materiais;
- a base de dados da biblioteca é composta por apenas 30 módulos;
- esta versão da aplicação não permite usar a ferramenta da avaliação de impactes de ciclo de vida.

3 Inventário e modelo de gestão de resíduos sólidos da Região Centro

3.1 Resíduos urbanos

3.1.1 Caracterização da área geográfica

A Região Centro considerada neste caso de estudo para os RU é constituída por 79 concelhos pertencentes aos distritos de Aveiro, Coimbra, Castelo Branco, Leiria, Guarda, Viseu e Santarém. Esta selecção foi feita com base na informação da localização geográfica destes concelhos disponibilizada no site da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (Figura 3.1) (www.ccdrc.pt).

Na sua totalidade, esta região tem uma área aproximada de 23.725 km² ocupada por uma população de cerca de 1.791.773 habitantes (censos de 2001), resultando numa produção de RU de cerca de 700.000 toneladas por ano (dados relativos ao ano de 2006). A distribuição da população pelos respectivos concelhos e os restantes dados podem ser observados com maior pormenor no **Erro! A origem da referência não foi encontrada..** As fontes para obtenção destes dados foram as informações disponibilizadas na página da internet de cada sistema de gestão dos respectivos municípios.

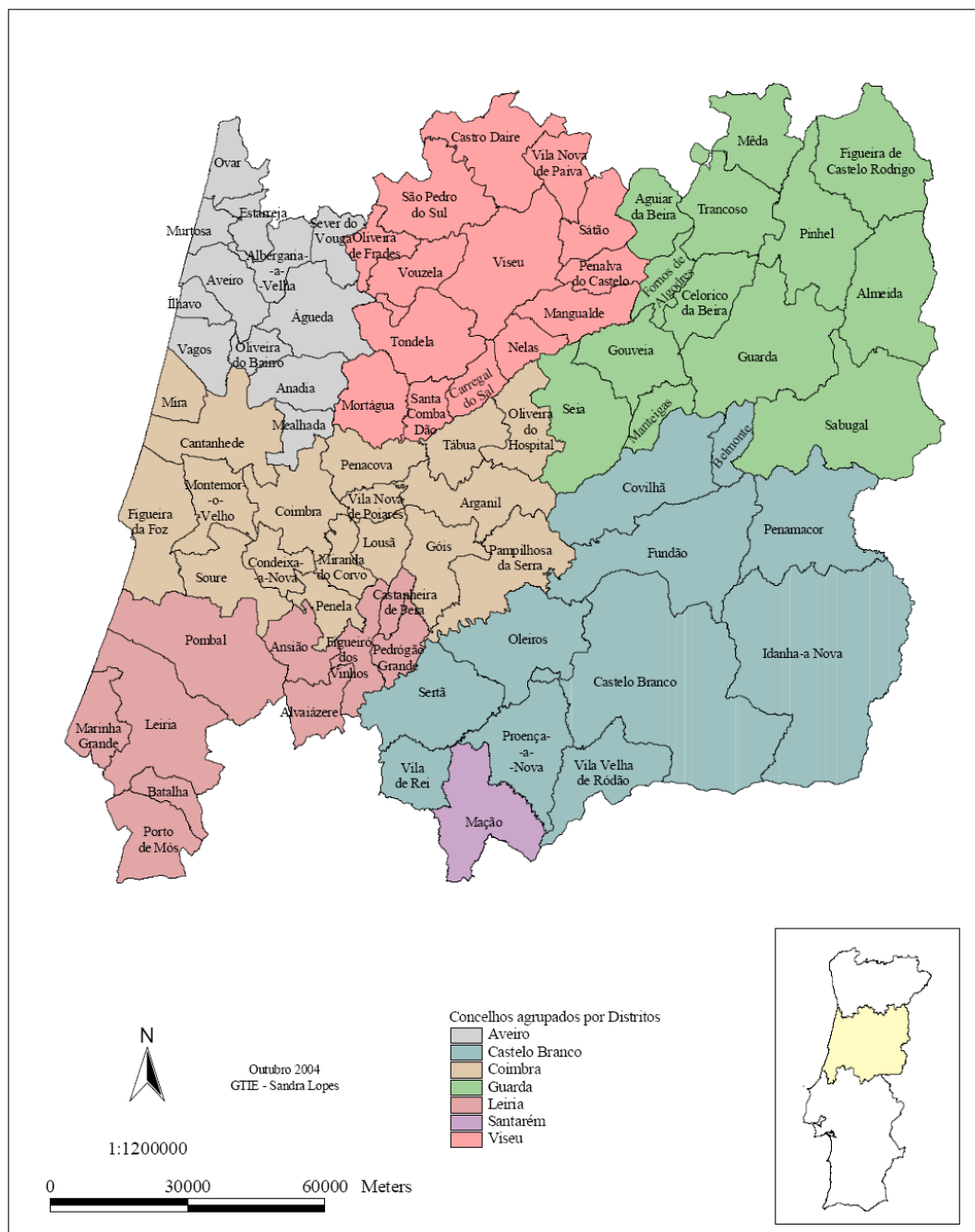


Figura 3.1 - Mapa da região Centro do trabalho de estudo (fonte: CCDR Centro)

3.1.2 Caracterização e composição dos resíduos urbanos em estudo

Como já foi referido anteriormente, os RU apresentam uma mistura de materiais de natureza muito diversificada. Na Tabela 3.1 é apresentada a composição média deste tipo de resíduos em Portugal. Os finos referem-se aos indiferenciados com dimensão inferior a 200 mm e os outros referem-se aos resíduos não identificados.

Tabela 3.1 - Composição ponderal média dos RU em Portugal (fonte: www.apambiente.pt)

Componentes (i)	[kg i/100kg H btq]
Matéria orgânica	35,9
Papel/cartão	23,7
Plástico	11,1
Vidro	5,6
Têxteis	3,4
Metal	2,4
Madeira	0,3
Finos	12
Outros	5,6

Os resíduos podem ser caracterizados com base na sua análise próxima, análise elementar, propriedades termofísicas e/ou propriedades biológicas e químicas.

Neste trabalho o RU vai ser caracterizado com base no conteúdo (w_{ji}) em carbono (C), hidrogénio (H), oxigénio (O), azoto (N), enxofre (S), teor em cinzas (Z) e o poder calorífico inferior (PCI). Os valores típicos para a composição elementar dos diferentes componentes dos RU são apresentados na Tabela 3.2, onde w_{iH} e w_{iW} estão em base tal e qual e w_{ji} e o PCI_i estão em base seca. Os componentes “finos” e os “outros” foram distribuídos uniformemente pelos outros componentes.

Tabela 3.2 - Características ponderais típicas dos componentes do RU (Adaptado de: Matos, 2004, fonte: Tchobanoglous, G., 1977)

Componentes	w_{iH} [kg i btq/kg H btq]	w_{iW} [kg H ₂ O/kg i btq]	$w_{ji,R}$ [kgj/kg i bs]						$PCI_{i,R}$ [MJ/kg i bs]
			w_{Ci}	w_{Hi}	w_{Oi}	w_{Ni}	w_{Si}	w_{Zi}	
Resíduos alimentares	0,154	0,70	0,480	0,064	0,376	0,026	0,004	0,050	4,65
Resíduos jardinagem	0,124	0,60	0,478	0,060	0,380	0,034	0,003	0,045	5,52
Papel	0,404	0,06	0,435	0,060	0,440	0,003	0,002	0,060	16,74
Cartão	0,044	0,05	0,440	0,059	0,446	0,003	0,002	0,050	16,28
Plásticos	0,039	0,02	0,600	0,072	0,228	0,000	0,000	0,100	32,56
Vidro	0,084	0,02	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,14
Madeira	0,024	0,20	0,495	0,060	0,427	0,002	0,001	0,015	18,61
Metais n/ferrosos	0,044	0,02	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,00
Metais ferrosos	0,054	0,02	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,71
Têxteis	0,029	0,10	0,555	0,062	0,312	0,046	0,005	0,025	17,54

Para este estudo são necessários todos os valores em base tal e qual, e, para isso foram utilizadas a equação 3.1 e a equação 3.2 para os respectivos cálculos. Para o cálculo dos metais, papel/cartão e resíduos orgânicos foram feitas médias com os respectivos componentes (metais não ferrosos com metais ferrosos, papel com cartão

e resíduos alimentares com resíduos de jardinagem). Os resultados de todos os cálculos são apresentados na Tabela 3.3.

$$w_{ji,H} = w_{ji,R} \cdot (1 - w_{wi}) \quad (\text{Eq. 3.1})$$

$$PCI_{i,H} = PCI_{i,R} \cdot (1 - w_{wH}) \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Tabela 3.3 - Características ponderais típicas em base tal e qual

Componentes	w_{iH} [kg i btq/kg H btq]	w_{wi} [kg H ₂ O/kg i btq]	$w_{ji,H}$ [kgj/kg i btq]						$PCI_{i,H}$ [MJ/kg i btq]
			w_{Ci}	w_{Hi}	w_{Oi}	w_{Ni}	w_{Si}	w_{Zi}	
Resíduos orgânicos	0,278	0,650	0,16 8	0,02 2	0,13 2	0,01 1	0,00 1	0,01 7	1,78
Papel/ cartão	0,448	0,055	0,41 3	0,05 6	0,41 9	0,00 3	0,00 2	0,05 2	15,82
Plásticos	0,039	0,020	0,58 8	0,07 1	0,22 3	0,00 0	0,00 0	0,09 8	15,95
Vidro	0,084	0,020	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,98 0	16,18
Madeira	0,0204	0,200	0,39 6	0,04 8	0,34 2	0,00 2	0,00 1	0,01 2	26,05
Metais	0,098	0,020	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,98 0	0,14
Têxteis	0,029	0,100	0,49 5	0,05 9	0,28 1	0,04 1	0,00 5	0,02 3	16,75

3.1.3 Caracterização dos sistemas de gestão

A região Centro considerada é servida pelos sistemas multimunicipais ERSUC, VALNOR, VALORLIS e ÁGUAS DO ZÊZERE E CÔA e pelos sistemas intermunicipais Ecobeirão e Raia/Pinhal.

3.1.3.1 ERSUC

O Sistema Multimunicipal de Tratamento e Valorização de Resíduos Sólidos Urbanos do Litoral Centro foi criado pelo Decreto-Lei nº 166/96, e, concessionado à ERSUC Resíduos Sólidos do Centro S.A.. Abrange 36 municípios, 32 dos quais pertencentes à região Centro em questão.

A ERSUC dispõe de três aterros localizados em Aveiro, Coimbra e Figueira da Foz, onde são tratados os RSU produzidos pelos municípios (www.ERSUC.pt).

Nos aterros sanitários de Aveiro e Coimbra existem duas estações de triagem de materiais provenientes da recolha selectiva da rede de ecopontos e ecocentros distribuídos pelos municípios (www.ERSUC.pt).

Para evitar custos acrescidos aos municípios que se encontram mais afastados dos aterros, a ERSUC dispõe de seis estações de transferência nas quais os RSU são entregues, sendo aí compactados e transportados pela ERSUC em viaturas de grande capacidade para o respectivo aterro (www.ERSUC.pt).

3.1.3.2 VALNOR

A VALNOR, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A. é uma empresa multimunicipal responsável pela gestão, valorização e tratamento dos resíduos sólidos de 19 municípios, sendo apenas o município de Vila de Rei pertencente à região Centro em questão. É composta por dois aterros localizados em Avis e na fronteira de Vila de Rei e Abrantes, uma central de triagem localizada em Avis e quatro estações de transferência localizadas em Castelo de Vide, Ponte de Sôr, Portalegre e Elvas (www.valnor.pt).

3.1.3.3 VALORLIS

A VALORLIS, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A., foi criada a 6 de Agosto de 1996, pelos Decreto-Lei 116/96, e abrange seis concelhos da Alta Estremadura, cinco dos quais pertencentes à região em estudo. Dispõe de um aterro sanitário localizado na fronteira entre Leiria e a Marinha Grande e três estações de transferência localizadas na Batalha, Ourém e Pombal (www.valorlis.pt).

Para a separação dos resíduos provenientes da recolha selectiva a VALORLIS usufrui de uma estação de tiragem, com localização próxima do aterro sanitário (www.valorlis.pt).

3.1.3.4 ÁGUAS DO ZÊZERE E CÔA

ÁGUAS DO ZÊZERE E CÔA é um sistema multimunicipal e é concessionária do Sistema Multimunicipal de Água e de Saneamento de Águas Residuais do Alto Zêzere e Côa. Abrange 16 municípios, 14 dos quais pertencentes à região Centro considerada. É composta por uma estação de triagem e um aterro localizados no Fundão, e oito estações de transferência localizadas em Penamacor, Trancoso, Celorico da Beira, Manteigas, Pinhel, Guarda, Sabugal e Almeida (www.adp.pt).

3.1.3.5 Ecobeirão

A Ecobeirão é a Associação de Municípios da Região do Planalto Beirão e abrange 19 municípios pertencentes aos distritos de Coimbra, Guarda e Viseu (www.amr-planaltobeirao.pt).

Este sistema intermunicipal é composto por um centro de triagem e um aterro localizados em Tondela, e por três estações de transferência localizadas em Seia, Viseu e Tondela (www.amr-planaltobeirao.pt).

3.1.3.6 Raia/Pinhal

A Associação de Municípios de Raia/Pinhal foi criada em 1993 e abrange seis municípios pertencentes ao distrito de Castelo Branco. É servida por um aterro localizado em Castelo Branco e por duas estações de transferência localizadas em Idanha-a-Nova e Proença-a-Nova. Relativamente à existência de estações de triagem, não foi encontrada nenhuma referência em relação a este assunto (www.am-raiapinhal.com).

3.1.4 Modelos de gestão actual

Actualmente, a maior parte dos resíduos urbanos na Região Centro é depositada em aterro, sem qualquer tipo de tratamento prévio. Os resíduos provenientes da recolha selectiva são enviados para estações de triagem onde são compactados e enviados para a indústria de reciclagem. Os resíduos provenientes da recolha indiferenciada são na sua maioria depositados directamente em aterro, sendo uma pequena parte enviada para tratamento mecânico-biológico (compostagem).

3.2 Resíduos industriais não perigosos (RINP)

3.2.1 Caracterização da área geográfica e inventário

Para os Resíduos industriais não perigosos, a Região Centro considerada neste caso de estudo é constituída por 77 concelhos pertencentes aos distritos de Aveiro, Coimbra, Castelo Branco, Leiria, Guarda e Viseu. Esta selecção foi feita com base na informação existente acerca da produção destes resíduos, disponibilizada no “site” da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (www.ccdrc.pt).

Pode observar-se no **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**o inventário da produção destes resíduos por município.

3.2.2 Caracterização e composição dos resíduos em estudo

Os resíduos industriais podem ser caracterizados recorrendo à Lista Europeia de Resíduos (LER). A LER está organizada em 20 classes de resíduos cuja tipologia

obedece aos processos gerais que lhe deram origem, ou seja, os resíduos são tipificados de acordo com a actividade que os originou. Os diferentes resíduos incluídos na LER são definidos por códigos de seis dígitos e por códigos de dois e quatro dígitos dos respectivos capítulos e subcapítulos.

Para este estudo apenas foram seleccionados os resíduos com interesse para valorização energética, ou seja, resíduos com elevado poder calorífico. Essa selecção é apresentada no **Erro! A origem da referência não foi encontrada..** Toda a informação relacionada com as quantidades de RINP foi obtida no site da CCDR Centro (www.ccdrc.pt).

Para obter as quantidades de RINP com interesse para valorização energética utilizou-se uma metodologia de cálculo apresentada posteriormente. O ideal seria corresponder cada “resíduo LER” de acordo com a actividade económica que lhe deu origem e localizá-lo em cada município. Contudo, esse método não foi possível devido à falta de informação necessária para tal, e, por esse motivo, foi considerada uma distribuição uniforme de cada tipologia LER pelos diferentes municípios.

Os RINP produzidos vão ser caracterizados neste estudo com base no seu teor de humidade e no seu PCI (características que mais influenciam o processo de incineração). Estes estão agrupados em categorias de papel/cartão, plásticos, combustíveis (gasóleo e gasolina), borracha, óleos e gorduras, madeira e têxteis. Esta caracterização é apresentada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Características típicas de materiais constituintes dos RINP

Resíduos	Quantidades [ton]	PCI _i [MJ/kg i bs]	ww _i [kg H ₂ O/kg i btq]
Papel/cartão	39288	16,4	0,05
Plásticos	23807	32,56	0,02
Combustíveis (gasóleo e gasolina)	302	40	0,02
Borracha	6376	23,26	0,02
Madeira	578842	18,61	0,2
Óleos e gorduras	346	28	0,02
Têxteis	7032	17,54	0,1
Total	655995		

3.2.3 Modelo de gestão actual

Actualmente os resíduos industriais banais são eliminados em aterro. Os resíduos produzidos pelas empresas da Região Centro são enviados para um aterro em Leiria (Resilei) ou para um aterro em Castelo Branco (construtora Lena). Por falta de informação, considerou-se que as empresas eram servidas por cada aterro de acordo

com a proximidade geográfica do município ao aterro. Essa distribuição pode observar-se no **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

Foi considerada também a hipótese da existência de algumas estações de transferência para servir os municípios com localização mais distante destes aterros. A responsabilidade pela construção destas estações de transferência (inexistentes actualmente) seria das entidades responsáveis pela gestão destes resíduos industriais. No entanto, essa hipótese não foi trabalhada no estudo efectuado.

4 Resultados e análise do inventário

4.1 Dados de entrada

4.1.1 Resíduos

Quando se faz um Inventário de Ciclo de Vida (ICV) o primeiro passo é a definição da quantidade e composição dos resíduos gerados na área a ser investigada.

Ao introduzir as quantidades de resíduos no Umberto, este apenas requer que seja “criado” um material e que sejam definidas características como a unidade básica (unidade que o Umberto vai utilizar para calcular todas substâncias em massa) que se pretende e também deve ser definido o tipo de material (“good”, “neutral” ou “bad”). Características relacionadas com a composição do resíduo apenas são inseridas em processos como a triagem e incineração.

Na Figura 4.1 pode ser observada a caixa de texto onde é criado o material com as características anteriormente referidas.

Figura 4.1 – Caixa de texto onde são criados materiais da rede de fluxo

4.1.1.1 Resíduos urbanos

A quantidade e qualidade dos resíduos urbanos dependem de vários factores como a densidade populacional, os níveis de afluência, o tipo de habitações, o modo de recolha e o esforço da sua redução na fonte.

Na aplicação Umberto todos os dados de entrada relativamente aos resíduos têm como espaço temporal um ano, neste caso o ano de 2006. Assim, as quantidades de entrada dos resíduos para cada cenário e para cada processo estão representadas na Tabela 4.1. Para a obtenção dessas quantidades utilizaram-se as percentagens referidas anteriormente, aquando da descrição de cada cenário.

Ao analisar a Tabela 4.1, pode observar-se que as quantidades totais de resíduos não são as mesmas se for comparado o cenário 1 com os cenários 2 e 3. Esta situação deve-se, como já foi referido anteriormente, ao facto de alguns municípios terem sido retirados da área de estudo para os cenários 2 e 3.

Tabela 4.1 - Dados de entrada das quantidades de RU para cada cenário e para cada processo

Processos			Quantidade de RU [ton/ano]		
			Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Recolha selectiva	Resíduos orgânicos	Compostagem doméstica	0	0	48312
		Compostagem municipal	0	0	112728
		Compostagem centralizada	0	115949	0
	Recicláveis materiais	Reciclagem	60894	115949	128832
Recolha indiferenciada	Tratamento mecânico-biológico	Reciclagem	0	36561	0
		Compostagem	8399	109682	0
		Produção de CDR	0	182803	0
		Aterro	0	60934	0
		Incineração		0	0
	Aterro directo		630641	22284	19151
Total			699935	644162	644162

4.1.1.2 Resíduos industriais não perigosos

As quantidades de entrada para os resíduos industriais são apresentadas na Tabela 4.2. Para o cálculo das quantidades de RINP de entrada foram utilizadas as equações já referidas no subcapítulo 2.2.2.

No **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** pode observar-se que dos 2.582 kton de RINP produzidos, 2.223 kton são depositadas no aterro Resilei e as restantes 359 kton são depositados no aterro de Castelo Branco.

Tabela 4.2 - Dados de entrada das quantidades de RINP para cada cenário e para cada processo

Processos	Quantidades de RINP [kton.ano ⁻¹]	
	Cenário #1	Cenário #2
Aterro	2582	1926
Incineração	0	656
Total	2582	2582

4.1.2 Recolha e transporte

Para os processos de recolha e transporte foi seguida uma metodologia de cálculo e assumidos alguns pressupostos. Como já foi referido anteriormente, quando é importado um módulo da “biblioteca” do Umberto, este requer a inserção de alguns parâmetros. Na transição de transporte, são necessários dados como a distância de transporte e o tipo de veículo. Para os vários componentes dos resíduos recicláveis e resíduos indiferenciados, foi necessário calcular esses parâmetros.

4.1.2.1 Recolha selectiva de RU

Na aplicação Umberto, o tipo de veículo é caracterizado pela quantidade de resíduos que ele transporta. Neste estudo foi considerada uma capacidade volumétrica do veículo de 15 m³ para a recolha selectiva de resíduos. No entanto, como cada componente dos resíduos recicláveis tem densidades volumétricas diferentes, e como se pretende a capacidade do veículo em peso (toneladas), teve que calcular-se a capacidade do veículo para cada componente. Assim, foram admitidos valores para as densidades volumétricas dos componentes e calculadas assim as capacidades dos veículos (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Densidades volumétricas e capacidade do veículo para cada componente de resíduos da recolha selectiva

Componentes	ρ [kg.m ⁻³]	Capacidade veículo [ton]
Vidro	600	9
Papel	100	2
Embalagens	100	2
Orgânicos	450	7

Foi necessário também estimar o esforço efectuado para a recolha de recicláveis. Para tal, foram utilizados dados disponibilizados no “site” da ERSUC (www.ERSUC.pt) relacionados com os quilómetros percorridos para recolher uma tonelada de resíduos

recicláveis (vidro, papel/cartão e embalagens) em cada concelho pertencente a este sistema multimunicipal (Anexo E)

Como não foi possível encontrar este tipo de informação para todos os concelhos foi necessário calcular um indicador de distância percorrida para a recolha de diferenciados que representasse qualquer município. Para tal, primeiro foi necessário calcular um rácio representativo dos quilómetros percorridos para a recolha de cada componente j de todos os municípios da ERSUC, o qual foi denominado por $R_{ij(ERSUC)}$, onde i representa o componente a recolher (vidro, papel/cartão ou embalagens) e j representa o correspondente município.

Para o cálculo desse rácio, em primeiro lugar calculou-se a distância percorrida para a recolha de uma tonelada de qualquer componente de resíduo reciclável. Como se pode observar na equação 4.1, esse valor foi obtido através do quociente da distância de cada município à estação de triagem com a capacidade do veículo para recolha do componente i .

$$d_{ij} = \frac{d_j}{v} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Os valores de R_{ij} foram obtidos através da equação 4.3 e estão apresentados na Tabela 4.4.

$$R_{ij(ERSUC)} \cdot \sum d_{ij} \cdot S_{ij(ERSUC)} = \sum d_{ij} \cdot S_{ij(ERSUC)} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

ou seja,

$$R_{ij(ERSUC)} = \frac{\sum (d_{ij} \cdot S_{ij(ERSUC)})}{\sum (d_{ij} \cdot S_{ij(ERSUC)})} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

A aplicação Umberto exige como uma distância de entrada, uma única distância. Como este estudo envolve vários municípios, para calcular a distância representativa para a recolha dos diferenciados de qualquer município utilizou-se a equação 4.5, onde foram utilizados os rácios obtidos pelas equações referidas anteriormente para o cálculo dessa distância representativa para cada componente. Os valores obtidos para cada cenário são apresentados na Tabela 4.4.

$$d_{m,j} \cdot \frac{1}{v} \cdot \sum S_{ij} = \sum d_{ij} \cdot \frac{1}{v} \cdot R_{ij(ERSUC)} \cdot S_{ij} \quad (\text{Eq. 4.4})$$

ou seja,

$$d_{m,i} = \frac{\sum d_{rj} \cdot R_{ij} \cdot S_{ij}}{\frac{1}{v} \cdot \sum S_{ij}} \quad (\text{Eq. 4.5})$$

Tabela 4.4 – Valores de rácios representativos para os respectivos componentes de resíduos recicláveis relativamente à ERSUC e distâncias representativas obtidas para qualquer município em cada cenário.

Componentes (i)	$R_{ij(ERSUC)}$	$d_{m,i}$ [km/viagem]		
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Vidro	3,6	51	50	48
Papel	5,7	80	80	76
Embalagens	12,4	174	173	167

Em relação à recolha selectiva de vidro, papel/cartão e embalagens, todas as bases de cálculo são comuns para todos os cenários, com excepção das quantidades recolhidas.

Para os cenários 2 e 3 há introdução de um novo componente a recolher selectivamente, os resíduos orgânicos.

Como é sabido, a Directiva nº1999/31/CE de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterro (Directiva “Aterros”) estabelece metas para uma diminuição na quantidade de resíduos biodegradáveis depositados em aterro (Directiva 1999/31/CE).

Para o cumprimento dessas metas são necessárias tomar algumas medidas, sendo duas destas a redução na fonte (intervenção ao nível dos processos de fabrico e compostagem em pequena escala) e a recolha selectiva da matéria orgânica (“porta-a-porta” e em ecopontos/ecocentros) (PERSU II, 2006).

Para a recolha selectiva de orgânicos assume-se que tem as mesmas bases que a recolha do vidro, dado este ser o componente que pode ter a densidade volumétrica mais próxima dos resíduos orgânicos. Assim é introduzido um novo contentor nos ecopontos denominado aqui “contentor castanho”.

No cenário 2, para o cálculo da distância representativa da recolha de orgânicos para qualquer município, foi utilizada a equação 4.3, referida anteriormente, usando-se o valor de $R_{ij(ERSUC)}$ obtido para o vidro, obtendo-se assim uma distância de 50 km para cada viagem.

No cenário 3 são introduzidos dois novos processos, a compostagem doméstica e a compostagem municipal. Os resíduos destinados a compostagem doméstica saem

fora deste sistema, não sendo assumidos aquando da introdução de dados no software. Para os resíduos orgânicos destinados a compostagem municipal, foram utilizados dados e pressupostos de estudos anteriores (Ferreira, M., Romeiro, C., 2004). Assim são admitidos dois tipos de instalações para compostagem municipal: uma com capacidade para 2500 toneladas de bioresíduos/ano (compostagem A) e outra com capacidade para 5000 toneladas de bioresíduos/ano (compostagem B). Para municípios com uma produção de orgânicos muito baixa, considera-se que os seus resíduos são enviados para a unidade de compostagem municipal mais próxima. Para municípios com produção superior a 5000 toneladas/ano admite-se a existência de duas unidades de compostagem no mesmo município. No Anexo F podem observar-se as distribuições das unidades de compostagem nos municípios de acordo com a produção de resíduos.

Relativamente às distâncias de recolha e transporte dos resíduos destinados a compostagem municipal, admitiu-se (tendo por base um outro estudo) uma distância de recolha e transporte de 29 km/viagem para municípios com capitação superior a 3.10^{-4} kg/hab.dia. Para os restantes municípios, admitiu-se uma mesma distância de 35 km/viagem. Utilizando-se a equação 4.7 obteve-se uma distância representativa de transporte de orgânicos para compostagem municipal de 33 km/viagem em qualquer município.

$$d_{CM,j} \cdot \sum \frac{LER_{i,j,3}}{v} = \sum \frac{LER_{i,j,3}}{v} \cdot d_{m,C} \quad (\text{Eq. 4.6})$$

Ou seja,

$$d_{CM,j} = \frac{\sum \frac{LER_{i,j,3}}{v} \cdot d_{m,C}}{\sum \frac{LER_{i,j,3}}{v}} \quad (\text{Eq. 4.7})$$

Na Tabela 4.5 são apresentados os parâmetros inseridos nesta transição transporte da aplicação Umberto para cada cenário.

Tabela 4.5 - Parâmetros da transição transporte de resíduos recicláveis para os diferentes cenários

Parâmetros	Quantidade										
	Vidro			Papel/cartão			Embalagens			Orgânicos	
	Cen.1	Cen.2	Cen.3	Cen.1	Cen.2	Cen.3	Cen.1	Cen.2	Cen.3	Cen.2	Cen.3
Distância (uma viagem) [km]	51	50	48	80	79	76	174	173	166	50	33

Rácio de utilização da viagem de ida [%]	60	60	60	70	70	70	80	80	80	60	60
Rácio de utilização da viagem de volta [%]	40	40	40	30	30	30	20	20	20	40	40
Tipo de veículo	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
Distância em auto-estrada [%]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Distância em estradas secundárias [%]	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Distância em estradas municipais [%]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

As distâncias de cada município até ao local de tratamento e/ou destino final foram obtidas através do software Google maps. O Google maps é um serviço de pesquisa da Google que disponibiliza mapas e rotas para qualquer ponto em vários países. Este serviço implica ser utilizado com ligação à internet e no estudo em questão foi utilizado para obter localizações, direcções e distâncias entre dois pontos.

4.1.2.2 Recolha indiferenciada de RU

Também para a recolha indiferenciada foi necessário estimar uma distância representativa de qualquer município.

Na recolha de indiferenciados foram considerados dois tipos de veículo: o veículo A, utilizado na recolha dentro dos municípios e no transporte desde o município até à estação de transferência (quando ela existe), e o veículo B, utilizado no transporte dos resíduos desde a estação de transferência até ao local de tratamento e/ou destino final. Na Tabela 4.6 são apresentadas as capacidades destes veículos de acordo com as suas características e o resíduo a transportar, o resíduo indiferenciado que neste caso tem uma densidade volumétrica de 123 kg.m^{-3} (Gomes, A.P. et al, 2007).

Tabela 4.6 – Características dos veículos do transporte de resíduos da recolha indiferenciada

Características	Veículos	
	A	B
Volume [m^3]	15	40
Rácio de compactação	2,5	3,5
Capacidade [ton]	5	17

Para estimar o esforço de recolha utilizaram-se dados de um estudo efectuado por Lopes, M. (2008) realizado para o município de Aveiro, tendo concluído que em média são percorridos 19 km para a recolha de 5 toneladas de resíduos (distância de recolha

correspondente a uma viagem, já que os veículos de recolha tem capacidade para transportar 5 toneladas de resíduos).

No entanto, como alguns factores (densidade populacional e a capitação) em alguns municípios são diferentes optou-se por ter-se consideração um outro valor para a distância correspondente ao esforço de recolha.

Assim, para municípios com capitação superior a 1 kg/hab.dia e uma área geográfica inferior a 500 km², assumiu-se o valor de 19 km para a distância de recolha de 5 toneladas de resíduos. Para municípios com capitação inferior a 1 kg/hab.dia assumiu-se o valor de 25 km para a distância de recolha de 5 toneladas de resíduos,

Então, para o cálculo da distância representativa de uma viagem para o transporte em qualquer município, desenvolveu-se a equação 4.9, onde $d_{m,j}$ corresponde à distância de recolha de resíduos no jésimo município. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.7 onde T1 corresponde ao transporte em municípios sem estação de transferência e T2 corresponde aos municípios que são servidos por uma estação de transferência. T2' representa o transporte “em baixa” e T2” representa o transporte “em alta”.

$$d_{m,j} \cdot \frac{1}{V} \cdot \sum LER_{i,j,1} = \sum (d_j + d_{rj}) \cdot \frac{1}{V} \cdot LER_{i,j,1} \quad (\text{Eq. 4.8})$$

Ou seja,

$$d_{m,j} = \frac{\sum (d_j + d_{rj}) \cdot \frac{1}{V} \cdot LER_{i,j,1}}{\frac{1}{V} \cdot \sum LER_{i,j,1}} \quad (\text{Eq. 4.9})$$

Tabela 4.7 – Distâncias representativas para o transporte de resíduos indiferenciados em qualquer município para cada cenário

		T1	T2	
			T2'	T2''
d _{m_j} [km/viagem]	Cenário 1	35	32	44
	Cenário 2	99	35	95
	Cenário 3	88	32	86

Tal como o transporte de resíduos provenientes da recolha selectiva, também para o transporte de resíduos indiferenciados foi importado o módulo de transporte existente na “biblioteca” do Umberto. Na Tabela 4.8 podem ser observados os parâmetros introduzidos no Umberto relacionados com o transporte de resíduos indiferenciados.

Tabela 4.8 - Parâmetros da transição do transporte de resíduos indiferenciados para os diferentes cenários

Parâmetros	Quantidade								
	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Com ET		Sem ET	Com ET		Sem ET	Com ET		Sem ET
	Município-ET	ET-destino final		Município-ET	ET-tratamento		Município-ET	ET-tratamento	
Distância (uma viagem) [km]	32	44	35	35	95	99	32	86	88
Rácio de utilização da viagem de ida [%]	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Rácio de utilização da viagem de volta [%]	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Tipo de veículo	2	4	2	2	4	2	2	4	2
Distância em auto-estrada [%]	16	16	16	0	50	65	0	50	50
Distância em estradas secundárias [%]	20	20	40	60	20	20	60	20	30
Distância em estradas municipais [%]	64	64	44	40	30	15	40	30	20

4.1.2.3 Resíduos industriais não perigosos

No que diz respeito ao transporte de RINP também foi necessário encontrar uma distância de transporte representativa de qualquer município. Para tal, usou-se uma metodologia semelhante à usada para o transporte de resíduos indiferenciados, mas sem ter em consideração qualquer percurso de recolha. É admitido um veículo de recolha de 15 m³ e uma densidade volumétrica de 100 kg.m⁻³, não existindo compactação, obtendo-se um veículo com capacidade para 2 toneladas/viagem.

Assim, a distância média de transporte para os resíduos industriais foi obtida a partir da equação 4.11.

$$d_{RINP,j} \cdot \sum \frac{R_{INP,j}}{v} = \frac{R_{INP,j}}{v} \cdot d_j \quad (\text{Eq. 4.10})$$

Ou seja,

$$d_{RINP,j} = \sum \left[\frac{\frac{R_{INP,j}}{v} \cdot d_j}{\sum \frac{R_{INP,j}}{v}} \right] \quad (\text{Eq. 4.11})$$

Também para o transporte de resíduos industriais foram inseridos no Umberto os parâmetros apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Parâmetros da transição do transporte de resíduos industriais não perigosos para os diferentes cenários

Parâmetros	Quantidade		
	Cenário 1	Cenário 2	
		R _{INP}	R _{INC}
Distância (uma viagem) [km]	89	89	64
Rácio de utilização da viagem de ida [%]	60	60	60
Rácio de utilização da viagem de volta [%]	40	40	40
Tipo de veículo	1	1	1
Distância em auto-estrada [%]	40	40	50
Distância em estradas secundárias [%]	20	20	20
Distância em estradas municipais [%]	40	40	30

4.1.3 Estação de triagem

Como se sabe, os resíduos provenientes da recolha selectiva são enviados para uma estação de triagem, onde são separados e armazenados em fardos para posteriormente serem enviados para a indústria de reciclagem.

A transição que representa a estação de triagem importada da “biblioteca” do Umberto assume como entrada manual um resíduo como um todo, e, nas funções da transição esse resíduo é “separado” através do uso de coeficientes de relação. Contudo, como os vários componentes dos resíduos recicláveis têm um transporte diferenciado, foram feitas as devidas alterações necessárias nas funções da transição.

4.1.4 Incineração

4.1.4.1 Resíduos urbanos

Como para todos os outros processos, também a incineração foi importada da “biblioteca” do Umberto. Assim, com todas as funções de balanço mássico e energético definidas, apenas foi necessário modificar alguns parâmetros relativos às características do resíduo a incinerar, bem como introduzir as quantidades a ser

incineradas. Quando a transição é importada, são importados também já os valores típicos das características do RU. Houve necessidade de alterá-los pois o resíduo a ser incinerado neste caso já não possui as características típicas de um RU, dado que grande parte da matéria orgânica foi “removida”, devido à existência da recolha selectiva de orgânicos.

Assim, para se obterem as características do “novo” resíduo a incinerar, foi seguida a metodologia posteriormente descrita.

Como já foi referido anteriormente, o resíduo a incinerar neste cenário já não apresenta a composição típica de um resíduo urbano. Algumas quantidades de componentes como a matéria orgânica, papel/cartão, plástico, metal e vidro, foram “retirados” para outros processos (reciclagem e compostagem doméstica e municipal), através da recolha selectiva. Essas percentagens são apresentadas na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Percentagens em massa em base tal e qual de componentes recolhidos selectivamente no cenário 3

Componentes recolhidos selectivamente	% em massa btq ($w_{i,rs}$)
Matéria orgânica	25
Papel/cartão	10,84
Plástico	1,16
Metal	2
Vidro	6
Total	45

Como tal, as percentagens dos componentes do “novo” RU tiveram que ser recalculadas, utilizando-se a equação 4.13 para o efeito.

$$w_{i,INC} \cdot \sum w_{i,r} - w_{i,rs} = (w_{i,r} - w_{i,rs}) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 4.12})$$

Ou seja,

$$w_{i,INC} = \frac{(w_{i,r} - w_{i,rs}) \cdot 100}{\sum w_{i,r} - w_{i,rs}} \quad (\text{Eq. 4.13})$$

Na Tabela 4.11 são apresentadas as percentagens em massa dos componentes para o RU a ser incinerado.

Tabela 4.11 – Percentagens em massa em base tal e qual de componentes do resíduo a ser incinerado

Componentes do RSU	% em massa btq do resíduo a ser incinerado ($w_{i,INC}$)
--------------------	--

Matéria orgânica	26,2
Papel/cartão	30,2
Plástico	26,1
Vidro	4,9
Têxteis	7,0
Metal	4,9
Madeira	0,6
Total	100

Para obter o PCI do resíduo a incinerar foi utilizada a equação 4.14.

$$PCI_{iH}' = PCI_{iH} \cdot w_{i,INC} \quad (\text{Eq. 4.14})$$

Para a obtenção do teor de humidade da mistura foi utilizada a equação 4.15.

$$w_{iw}' = w_{iw} \cdot w_{i,INC} \quad (\text{Eq. 4.15})$$

Para obter a composição elementar dos diferentes componentes do resíduo a incinerar, utilizou-se a equação 4.16

$$w_{ji,H}' = w_{ji,H} \cdot w_{i,INC} \quad (\text{Eq. 4.16})$$

Todos os resultados são apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Poder calorífico, composição elementar e próxima do RU a incinerar no cenário 3

w_{iw}' [kg i btq/kg H btq]	PCI_{iH}' [MJ/kg i btq]	$w_{ji,H}'$ [kg j/kg i btq]					
		w_{Ci}'	w_{Hi}'	w_{Oi}'	w_{Ni}'	w_{Si}'	w_{Zi}'
0,2087	12,14	0,3533	0,0448	0,2452	0,0039	0,0097	0,1429

Os parâmetros a inserir no Umberto para este processo são apresentados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Parâmetros relativos às características do resíduo para o processo incineração de RU

Variáveis	Parâmetros	Quantidade	Unidade
A_FE	Conteúdo em metais	2	%
A_H2O	Conteúdo em água	20,9	%
A_HU	Poder Calorífico Inferior em base tal e qual	12,1	MJ/kg
A_IN	Conteúdo em inertes (total)	14,3	%
CAS	Conteúdo em arsénico	0,005	g/kg
CCD	Conteúdo em cádmio	0,0095	g/kg
CCFOS	Conteúdo em carbono (fóssil)	118	g/kg
CCL	Conteúdo em cloro	9	g/kg
CCO	Conteúdo em cobalto	0,005	g/kg
CCR	Conteúdo em crómio	0,115	g/kg
CCREG	Conteúdo em carbono (renovável)	235	g/kg
CCU	Conteúdo em cobre	0,54	g/kg
CF	Conteúdo em flúor	0,01	g/kg
CH ₂	Conteúdo em hidrogénio	44,8	g/kg
CHG	Conteúdo em mercúrio	0,002	g/kg
CMN	Conteúdo em magnésio	0,05	g/kg
CN	Conteúdo em azoto	3,9	g/kg
CNI	Conteúdo em níquel	0,092	g/kg
CO ₂	Conteúdo em oxigénio	24,5	g/kg
CPB	Conteúdo em chumbo	0,49	g/kg
CS	Conteúdo em enxofre	0,97	g/kg
CSB	Conteúdo em antimónio	0,0005	g/kg
CSN	Conteúdo em estanho	0,02	g/kg
CTL	Conteúdo em tálio	0,001	g/kg
CV	Conteúdo em vanádio	0,03	g/kg
CZN	Conteúdo em zinco	17,9	g/kg
ENEL	Energia eléctrica (saída)	10	%
ENTH	Energia térmica (saída)	30	%

4.1.4.2 Resíduos industriais não perigosos

Para representar a incineração de RINP, foi importado da “biblioteca” do Umberto o mesmo processo de incineração utilizado nos RU. Foram alterados parâmetros como o PCI, teor em água e conteúdo em carbono foram alterados de acordo com a composição do RINP em estudo. Os parâmetros inseridos nesta transição do Umberto são apresentados na Tabela 4.14

Tabela 4.14 - Parâmetros relativos às características do resíduo para o processo incineração de RINP

Variáveis	Parâmetros	Quantidade	Unidade
A_FE	Conteúdo em metais	3	%
A_H ₂ O	Conteúdo em água	14,7	%
A_HU	Poder Calorífico em base tal e qual	18,5	MJ/kg
A_IN	Conteúdo em inertes (total)	33	%
CAS	Conteúdo em arsénico	0,005	g/kg
CCD	Conteúdo em cádmio	0,0095	g/kg
CCFOS	Conteúdo em carbono (fóssil)	23,9	g/kg
CCL	Conteúdo em cloro	9	g/kg
CCO	Conteúdo em cobalto	0,005	g/kg
CCR	Conteúdo em crómio	0,115	g/kg
CCREG	Conteúdo em carbono (renovável)	381,06	g/kg
CCU	Conteúdo em cobre	0,54	g/kg
CF	Conteúdo em flúor	0,01	g/kg
CH ₂	Conteúdo em hidrogénio	40	g/kg
CHG	Conteúdo em mercúrio	0,02	g/kg
CMN	Conteúdo em magnésio	0,05	g/kg
CN	Conteúdo em azoto	12	g/kg
CNI	Conteúdo em níquel	0,092	g/kg
CO ₂	Conteúdo em oxigénio	70	g/kg
CPB	Conteúdo em chumbo	0,49	g/kg
CS	Conteúdo em enxofre	2,5	g/kg
CSB	Conteúdo em antimónio	0,0005	g/kg
CSN	Conteúdo em estanho	0,02	g/kg
CTL	Conteúdo em tálio	0,001	g/kg
CV	Conteúdo em vanádio	0,03	g/kg
CZN	Conteúdo em zinco	17,9	g/kg
ENEL	Energia eléctrica (saída)	10	%
ENTH	Energia térmica (saída)	30	%

4.1.5 Compostagem e aterro

Os processos de compostagem e aterro foram importados também da “biblioteca” do Umberto e foram passíveis de qualquer alteração nos seus parâmetros. Apenas foram introduzidas as respectivas quantidades de entrada.

4.2 Limitações da aplicação

Ao longo de todo o tempo de utilização da aplicação Umberto foi possível verificar que este é bastante completo e de fácil utilização, mas ainda apresenta algumas limitações para trabalhos de gestão ambiental em Portugal:

- a base de dados usada é a base de dados alemã, o que significa que em processos como o aterro, a energia eléctrica usada tem as bases de centrais de energia eléctrica da Alemanha, o que pode não corresponder à realidade de Portugal;
- as emissões são calculadas através de coeficientes de relação entre os vários parâmetros envolvidos nos processos, ou então através de funções. Na maioria das vezes essas funções são de difícil compreensão, tornando-se muito difícil para o utilizador modelar esses processos de acordo com a necessidade do estudo;
- constatou-se que o Umberto não considera quaisquer emissões relacionadas com o consumo de energia eléctrica, o que não corresponde à realidade, já que a utilização da electricidade é responsável por uma parte das emissões de CO₂, embora se constate que alguns processos que fazendo uso de energia eléctrica incluem como matérias-primas carvão, petróleo e gás natural, o que se justifica em termos do “mix” de produção de energia eléctrica;
- observou-se a produção da energia eléctrica no processo de compostagem, o que é incompreensível neste processo, o que não sucederia se se tratasse de um processo de digestão anaeróbia.

4.3 Redes obtidas para cada cenário

4.3.1 Resíduos urbanos

4.3.1.1 *Cenário 1*

Depois da inserção de todos os dados obteve-se a rede apresentada na Figura 4.2, onde podem ser observadas as representações de todas as transições, entradas e saídas dos processos e as direcções dos fluxos materiais. Para visualização com maior pormenor esta rede pode ser observada no **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

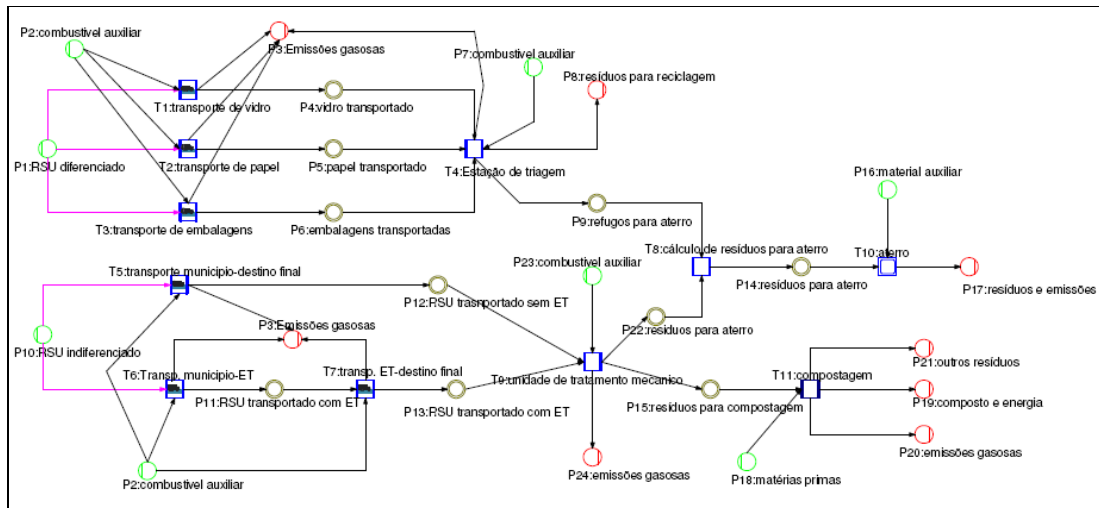


Figura 4.2 – Rede obtida para o Cenário 1

4.3.1.2 Cenário 2

Aquando da estruturação da rede correspondente ao cenário 2, surgiram alguns problemas relacionados com a aplicação Umberto. Como já foi referido anteriormente, a versão utilizada foi uma versão para fins educacionais, e que apresentava algumas limitações, sendo uma delas a restrição quanto ao número de transições possíveis em cada cenário (20 transições).

Assim, para se ultrapassar este problema, houve necessidade de se dividir a rede em dois cenários. Optou-se então por se representar o modelo de gestão dos diferenciados num cenário (Figura 4.3) e o modelo de gestão dos indiferenciados noutro cenário no Umberto (Figura 4.4) No entanto, houve cuidado para que essa separação não compromettesse os resultados finais, sendo os refugos gerados na triagem dos materiais recicláveis introduzidos no cenário de gestão dos resíduos indiferenciados. Para melhor visualização destas redes, estas podem ser observadas no **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

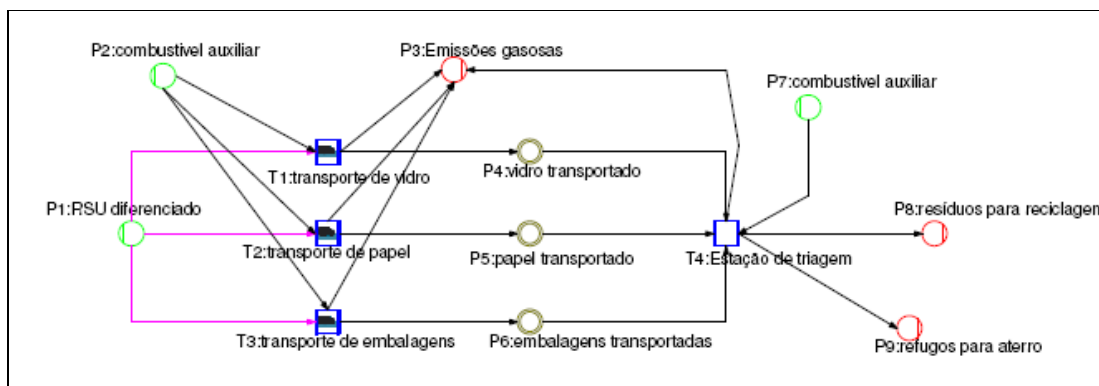


Figura 4.3 – Rede obtida para o Cenário 2, resíduos recicláveis

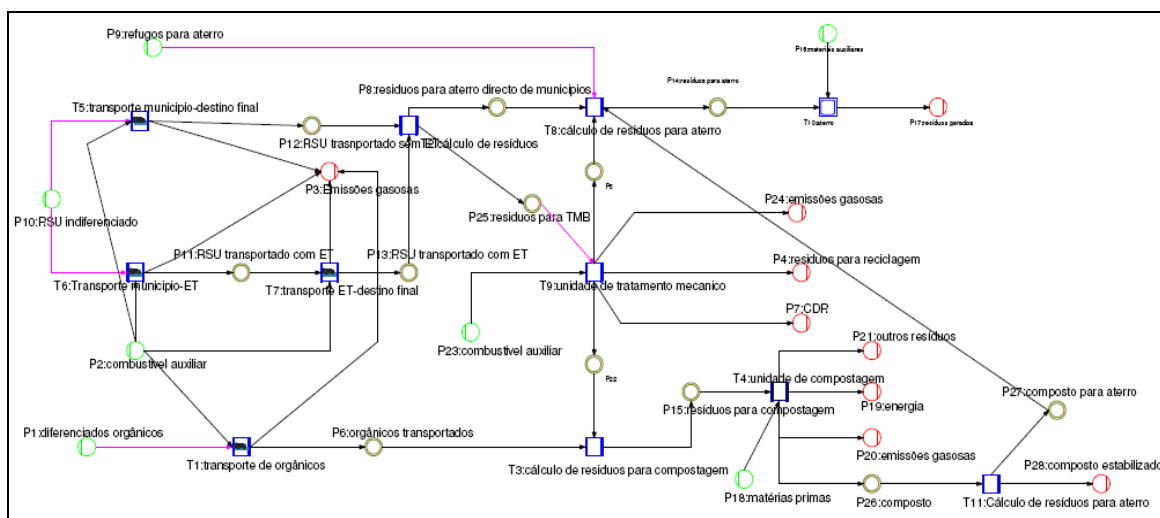


Figura 4.4 – Rede obtida para o cenário 2, resíduos indiferenciados

4.3.1.3 Cenário 3

Tal como no cenário 2, também neste cenário foi necessário tratar em diferentes redes os resíduos diferenciados dos resíduos indiferenciados. As redes obtidas podem ser observadas na Figura 4.5 e Figura 4.6. Para melhor visualização, estas redes estão disponíveis no **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

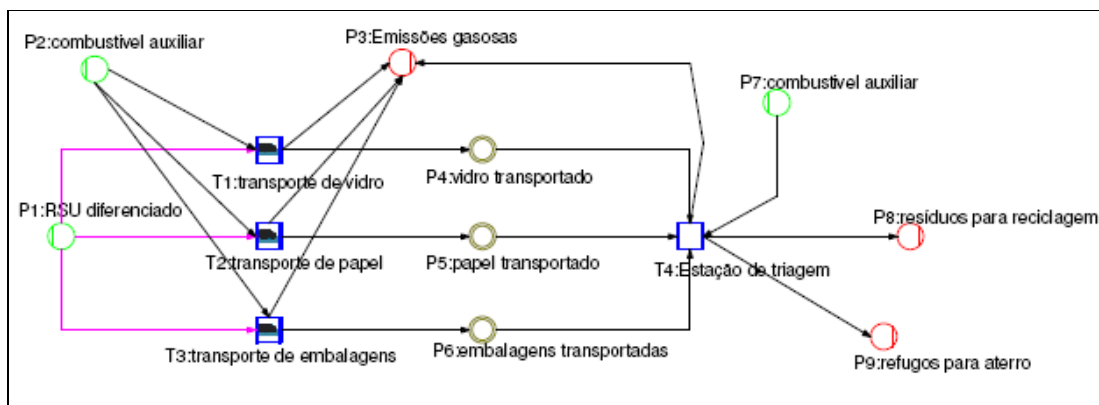


Figura 4.5 – Rede obtida para o Cenário 3, resíduos recicláveis

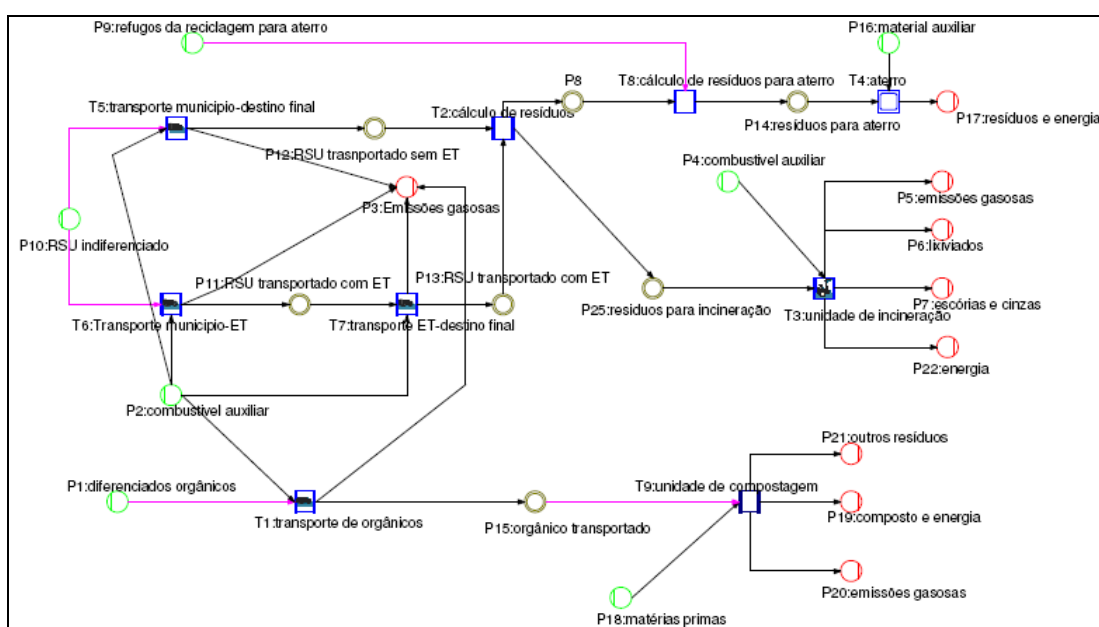


Figura 4.6 - Rede obtida para o cenário 3, resíduos indiferenciados

4.3.2 Resíduos industriais não perigosos

4.3.2.1 Cenário #1

O cenário #1 para os resíduos industriais não perigosos apresenta uma rede bastante simples, em que apenas existe uma transição de transporte e uma transição para o aterro, o tratamento que é dado aos RINP actualmente, como pode ser observado na Figura 4.7.

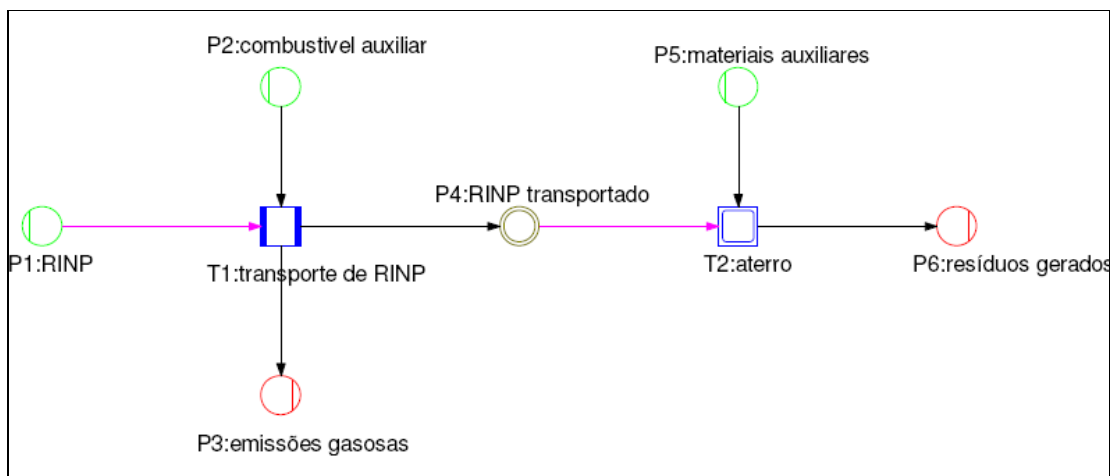


Figura 4.7 – Rede obtida para o cenário # 1, RINP

4.3.2.2 Cenário #2

O cenário #2 apresenta uma rede um pouco mais complexa, relativamente ao cenário #1. Foi necessário projectá-la de modo a que os RINP com interesse para valorização energética fossem transportados até à instalação de incineração enquanto os restantes resíduos continuam a ser transportados até ao aterro. A estrutura de toda a rede pode ser observada na Figura 4.8, e, com maior pormenor no **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

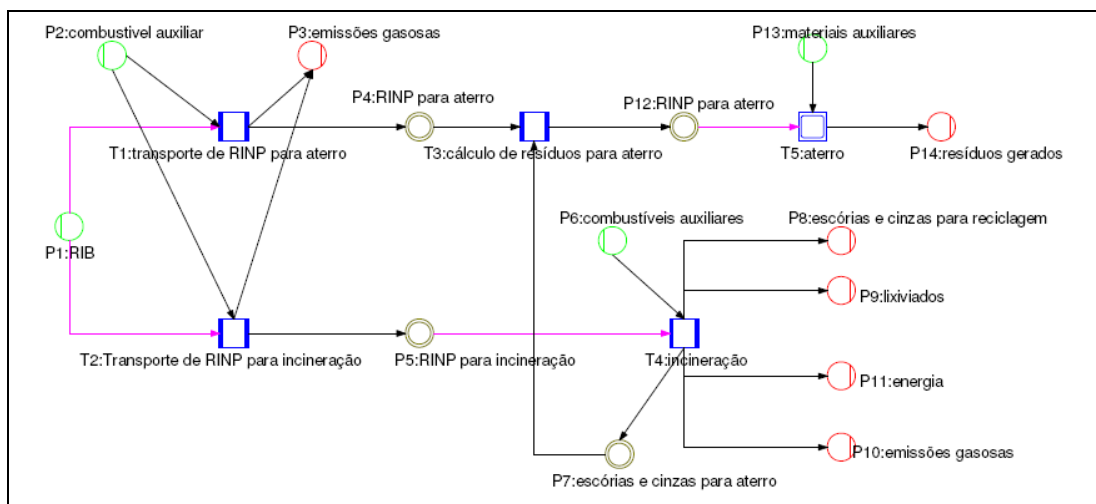


Figura 4.8 – Rede obtida para o cenário #2, RINP

4.4 Resultados de inventário

Através do Umberto foi possível realizar um inventário de todos os materiais intervenientes nos diferentes processos, o que inclui não só os resíduos a processar,

mas também todas as matérias-primas necessárias e, naturalmente, as emissões resultantes, energia produzida e materiais para reciclagem. Esses dados encontram-se assim sistematizados conforme as suas categorias e foram analisados e seleccionados os mais importantes para o caso de estudo.

4.4.1 Combustíveis e energia

Para os combustíveis e energia foram seleccionados os dados de consumo para a electricidade, diesel, gás natural e petróleo. Como energia gerada foi seleccionada a energia eléctrica e a energia térmica. Os valores obtidos para cada cenário de RU e RINP estão apresentados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Resultados obtidos para o consumo de combustíveis e energia gerada nos diferentes cenários de resíduos urbanos e resíduos industriais não perigosos no período de um ano

Combustíveis		RU			RINP	
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário #1	Cenário #2
Consumo	Electricidade [MJ]	4,88E+07	2,65E+08	1,60E+07	0	0
	Diesel [ton]	1,85E+03	3,87E+03	2,66E+03	1,92E+04	1,23E+04
	Gás natural [ton]	214	59,6	143	828	622
	Petróleo [ton]	768	2083	534	2960	2224
Energia gerada	Electricidade [MJ]	1,29E+08	3,61E+07	4,19E+08	5,17E+08	1,76E+09
	Energia térmica [MJ]	1,26E+04	3,51E+03	1,19E+09	5,06E+04	3,64E+09

Para cada cenário foram comparados os vários resultados obtidos para a entrada e saída de combustíveis.

Na Figura 4.9 estão apresentados os combustíveis consumidos para os RU. Pode observar-se que o cenário 2 é o que apresenta maiores quantidades de combustíveis consumidos, sendo o diesel o mais consumido, seguindo-se o petróleo.

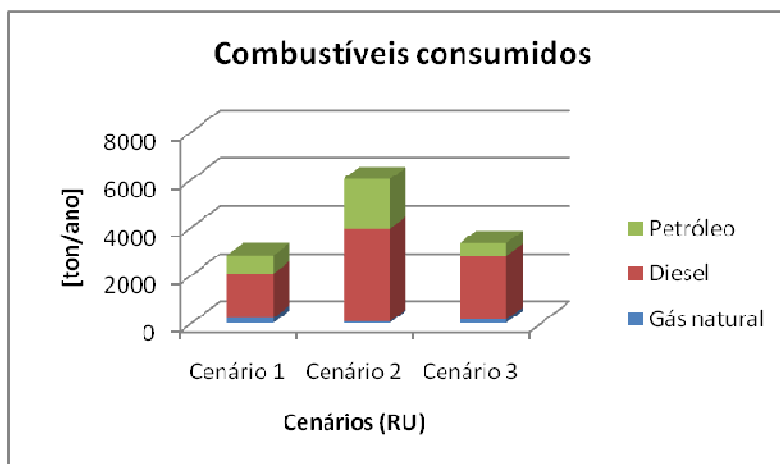


Figura 4.9 – Combustíveis consumidos nos processos de gestão de RU em cada cenário

Relativamente aos RINP é na Figura 4.10 que podem ser observados e comparados os resultados. Pela análise da mesma figura é possível mostrar que o cenário #1, relativo à deposição em aterro é o que apresenta maiores quantidades de combustíveis consumidos, sendo o combustível que apresenta maiores quantidades de consumo o diesel, seguindo-se o petróleo bruto. A razão de ser desta situação para o diesel deve-se ao facto de as distâncias percorridas no transporte para aterro serem superiores às que são percorridas no transporte para incineração.

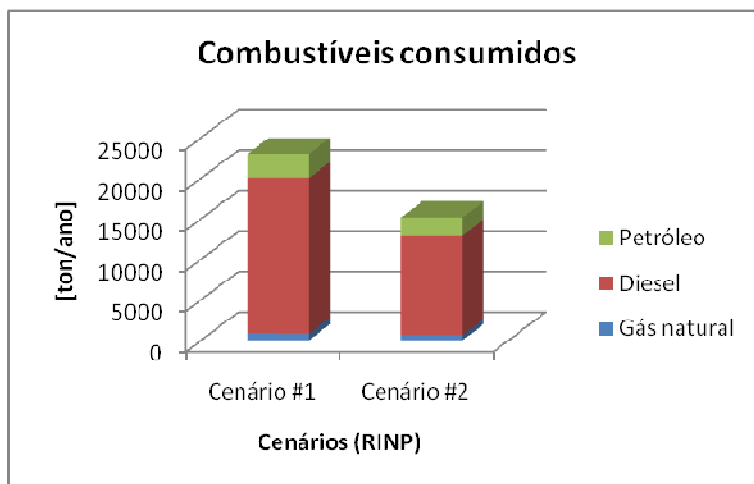


Figura 4.10 - Combustíveis consumidos nos processos de gestão de RINP em cada cenário

Para a electricidade foi calculado o balanço entre a consumida e a produzida pelos processos. Assim, observando a Figura 4.11 é possível comparar o balanço obtido para a electricidade gerada e a consumida, para os RU.

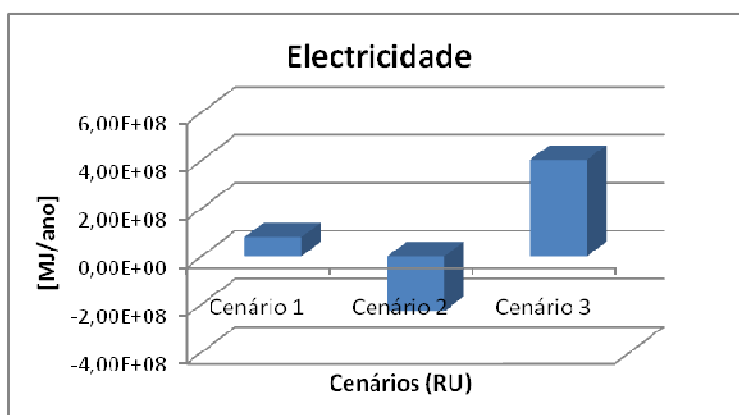


Figura 4.11 – Balanço da energia eléctrica obtida em cada cenário de RU.

Através da Figura 4.11 pode constatar-se que para o cenário 2 a quantidade de energia eléctrica consumida nos processos envolvidos neste cenário, foi inferior à quantidade de energia eléctrica gerada, o que tem a ver com as necessidades de energia do tratamento mecânico-biológico. O cenário 3 é o que apresenta um significativo balanço positivo, o que tem a ver com o facto de a incineração proporcionar a geração de energia eléctrica para venda.

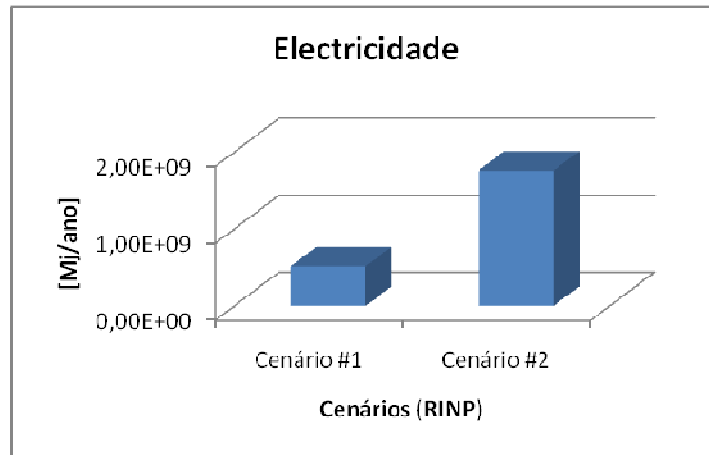


Figura 4.12 - Balanço da energia eléctrica obtida em cada cenário de RINP.

No que diz respeito aos RINP, pode constatar-se a partir da Figura 4.12 que o cenário #2 é o que apresenta maior quantidade de energia eléctrica produzida face à energia eléctrica consumida.

4.4.2 Resíduos

No que respeita aos resíduos sólidos, estes foram aglomerados em vários tipos: não perigosos, perigosos, lamas resultantes do tratamento de lixiviados e resíduos destinados a reciclagem, sendo também contabilizado o volume ocupado pelo aterro. Os resultados relativos a estes resíduos são apresentados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 - Resultados anuais obtidos para os vários tipos de resíduos gerados nos diferentes cenários de resíduos urbanos e resíduos industriais não perigosos

Resíduos Finais	RU			RINP	
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário #1	Cenário #2
Não perigosos [ton]	2,11E+03	5,88E+02	4,76E+01	8,44E+03	6,34E+03
Perigosos [ton]	3,60E-01	1,30E-01	4,90E-01	1,40E+00	1,05E+00
Lamas [ton]	7,90E+01	1,20E+02	5,82E+02	2,14E+02	1,60E+02
Reciclagem [ton]	4,80E+04	1,33E+05	1,48E+05	1,02E+03	5,57E+04
Composto [ton]	3,22E+03	4,94E+04	4,75E+04	0,00E+00	0,00E+00
Volume de aterro [m3]	6,43E+05	1,79E+05	6,84E+04	2,58E+06	1,94E+06

Ao observar a Figura 4.13 pode constatar-se que para o cenário 2 é aquele que apresenta maiores quantidades de resíduos não perigosos, comparativamente com os outros dois cenários. Relativamente à produção de resíduos recicláveis, é o cenário 3 que apresenta as maiores quantidades, seguindo-se o cenário 2. No que diz respeito à produção de composto estabilizado são os cenários 2 e 3 que apresentam maiores

quantidades produzidas. Note-se que no cenário 2 considerou-se que composto produzido resulta apenas dos resíduos orgânicos da recolha selectiva e que o produto resultante do tratamento biológico dos resíduos indiferenciados não iria apresentar a qualidade necessária (devido à probabilidade de contaminação por metais pesados e outras substâncias ser elevada) para ser posteriormente utilizado, pelo que foi enviado para aterro.

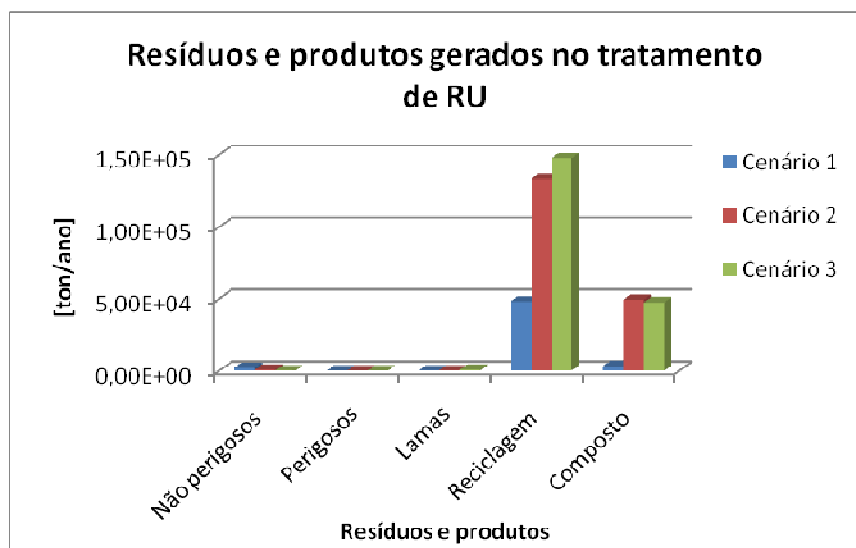


Figura 4.13 – Resíduos e produtos gerados anualmente no tratamento de RU

A Figura 4.14 apresenta os resultados relativos aos resíduos e produtos finais gerados no tratamento de RINP. Analisando essa figura pode observar-se que o cenário #1 apresenta maior produção de resíduos não perigosos. Relativamente à produção de resíduos recicláveis é o cenário #2 o que apresenta maiores quantidades produzidas, devido ao facto da incineração dar origem cinzas (e sucata) que apresentam utilidades para reciclagem ou outros usos. Para os resíduos perigosos e as lamas as quantidades produzidas foram muito baixas.

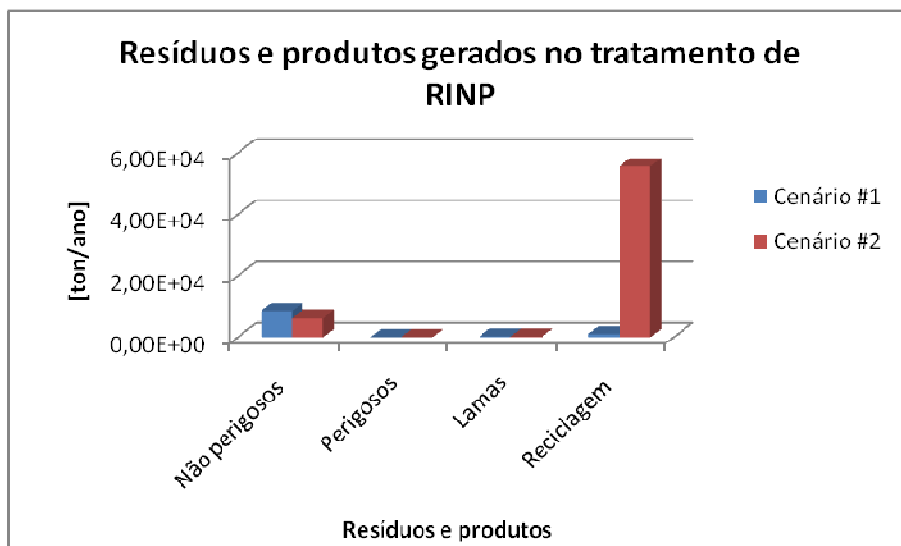


Figura 4.14 – Resíduos sólidos finais anuais gerados no tratamento de RINP

4.4.3 Espaço para aterro

Como já foi referido, nenhum cenário de gestão pode dispensar de utilizar o processo aterro, pois este é o processo de eliminação para os resíduos finais resultantes de processos de tratamento ou outros processos de eliminação (incineração).

Através da Figura 4.15 pode concluir-se que para os RSU, como seria de esperar, o cenário que apresenta maior espaço necessário para aterro é o cenário 1, sendo o que necessita de menos espaço o cenário 2. Para os RINP, também como esperado é o cenário #1 que apresenta maior espaço ocupado, sendo o cenário #2 o que apresenta menor espaço necessário para eliminação de resíduos em aterro.

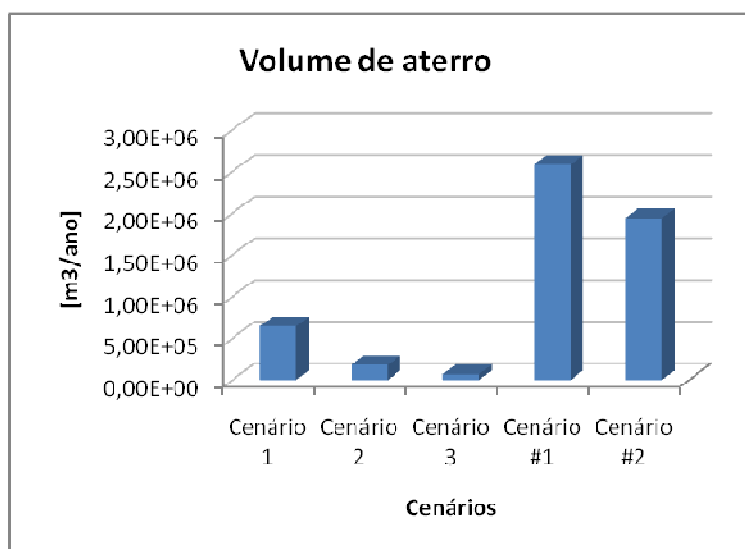


Figura 4.15 – Volume de aterro ocupado pelos resíduos finais em cada cenário

4.4.4 Emissões gasosas

Relativamente às emissões gasosas, foram seleccionadas aquelas que se consideram mais nocivas para o meio ambiente. Na Tabela 4.17 são apresentados os valores obtidos dessas emissões para os diferentes cenários de RU e RINP.

A análise das emissões para a atmosfera será realizada mais adiante neste trabalho sob a forma agregada de categorias de impactes ambientais.

Tabela 4.17 - Resultados obtidos para emissões gasosas anuais para a atmosfera geradas nos diferentes cenários de resíduos urbanos e resíduos industriais não perigosos

Emissões gasosas	RU			RINP	
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário#1	Cenário #2
Amoníaco (NH ₃) [ton]	1,70E+00	6,45E+02	2,04E+01	3,40E+00	1,80E+01
Ácido clorídrico (HCl) [ton]	6,05E+00	1,70E+00	7,30E+00	2,41E+01	2,99E+01
Ácido fluorídrico (HF) [ton]	1,16E+00	3,20E-01	9,50E-01	4,60E+00	4,96E+00
Ácido sulfídrico (H ₂ S) [ton]	6,60E+00	1,80E+00	7,00E-01	2,65E+01	1,99E+01
Arsénio (As) [kg]	5,00E-02	5,00E-02	4,80E-01	2,00E-01	1,03E+00
Cádmio (Cd) [kg]	5,00E-02	1,10E-01	1,47E+01	1,80E-01	2,94E+01
Crómio (Cr) [kg]	8,00E-02	7,00E-02	1,48E+01	3,20E-01	2,97E+01
Cobalto (Co) [kg]	0,00E+00	0,00E+00	8,80E-01	0,00E+00	1,77E+00
Cobre (Cu) [kg]	1,99E-07	5,54E-08	7,43E+01	7,99E-07	1,49E+02
Chumbo (Pb) [kg]	5,00E-02	2,80E-02	4,34E+01	8,50E-06	8,68E+01
Manganês (Mn) [kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,80E+00	0,00E+00	3,61E+00
Mercúrio (Hg) [kg]	1,24E-06	3,47E-07	3,54E+01	5,00E-06	7,09E+01
Níquel (Ni) [kg]	2,09E+00	4,59E+00	6,00E+00	8,04E+00	1,51E+01
Estanho (Sn) [kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,77E+00	0,00E+00	3,54E+00
Vanádio (V) [kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,80E-01	0,00E+00	3,50E-01
Zinco (Zn) [kg]	1,83E-06	5,11E-07	3,50E-01	7,40E-06	7,05E+02
Azoto (N) [ton]	3,70E-01	1,10E+02	5,40E+00	0,00E+00	0,00E+00
Óxidos de azoto (NO _x) [ton]	1,60E+02	1,72E+02	4,74E+02	8,18E+02	1,43E+03
Dióxido sulfúrico (SO ₂) [ton]	5,63E+01	2,30E+01	4,29E+01	2,28E+02	2,43E+02
Metano (CH ₄) [ton]	2,24E+01	7,80E+00	1,52E+01	8,98E+01	6,58E+01
Metano (CH ₄), renovável [ton]	2,36E+04	7,09E+03	2,64E+03	9,47E+04	7,12E+04
Clorobenzenos [kg]	2,66E-07	7,41E-08	2,40E-01	1,07E-06	5,20E-01
Clorofenóis [kg]	5,32E-07	1,48E-07	4,90E-01	2,14E-06	1,03E+00
Policlorobifenis (PCB) [kg]	4,00E-02	1,18E-02	8,15E-03	1,70E-01	1,40E-01
Benzeno (C ₆ H ₆) [kg]	4,83E+02	4,20E+02	3,73E+02	4,75E+03	2,26E+03
Benzopireno (C ₂₀ H ₁₂) [kg]	8,00E-02	4,44E-02	4,00E-02	4,20E-01	3,10E-01
Naftaleno (C ₁₀ H ₈) [kg]	2,66E-06	7,41E-07	2,83E-07	1,07E-05	8,04E-06
Fenantreno (C ₁₄ H ₁₀) [kg]	5,32E-08	1,48E-08	5,66E-09	2,13E-07	1,60E-07
Dióxido de carbono (CO ₂), fóssil [ton]	1,61E+04	1,69E+04	1,57E+05	1,00E+05	1,26E+05
Dióxido de carbono (CO ₂), renovável [ton]	1,25E+05	7,99E+04	3,19E+05	4,97E+05	1,29E+06
Monóxido de carbono (CO) [ton]	1,55E+02	8,00E+01	1,42E+02	7,78E+02	7,11E+02
Óxido nitroso (N ₂ O) [ton]	1,20E+00	1,80E+01	1,19E+01	6,90E+00	9,20E+00
Partículas [ton]	1,15E+01	1,30E+01	2,14E+01	7,50E+01	7,28E+01
Biogás, perdas por difusão [m ³]	6,00E+07	1,67E+07	6,39E+06	2,41E+08	1,81E+08
Dioxinas (PCDD) e furanos (PCDF) [kg]	5,46E-06	1,70E-06	6,17E-05	2,30E-05	1,46E-04

4.4.5 Emissões líquidas

Tal como as emissões gasosas, também as emissões para a água seleccionadas foram aquelas que se consideraram ter um efeito mais negativo para o ambiente. Essas emissões estão apresentadas na Tabela 4.18.

A análise das emissões para a água será realizada mais adiante neste trabalho sob a forma agregada de categorias de impactes ambientais.

Tabela 4.18 - Resultados obtidos para emissões anuais para a água geradas nos diferentes cenários de resíduos urbanos e resíduos industriais não perigosos

Emissões Líquidas	RU			RINP	
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário #1	Cenário #2
Arsénio (As) [kg]	9,76	2,72	1,04	39,17	29,43
Cádmio (Cd) [kg]	1,02	0,29	0,11	4,12	3,09
Crómio (Cr) [kg]	18,32	5,10	1,95	73,57	55,28
Chumbo (Pb) [kg]	6,67	1,86	0,71	26,80	20,14
Mercúrio (Hg) [kg]	0,58	0,16	0,06	2,31	1,74
Amónia (NH ₄ ⁺) [ton]	125,60	35,02	13,99	504,10	379,00
Nitrato (NO ₃ ⁻) [ton]	4,27	1,99	8,90	14,80	11,00
Compostos de Azoto [ton]	51,40	14,30	5,46	206,30	154,00
Compostos de fósforo [ton]	5,04	1,40	0,54	20,20	15,20
Policlorobifenis (PCB) [kg]	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
CBO ₅ [ton]	58,40	18,18	12,40	232,90	175,00
CQO [ton]	165,30	58,19	56,70	653,20	490,00

4.5 Impactes ambientais

A avaliação de impactes ambientais consiste no cálculo dos diferentes efeitos ambientais potenciais (categorias de impacto), a partir as intervenções ambientais (inventário de emissões). Pretende-se nesta fase avaliar a magnitude do impacto ambiental potencial dos diferentes cenários de gestão usando algumas das respectivas categorias de impacto.

4.5.1 Definições das categorias de impacto

De acordo com a metodologia de Leiden (Pereira, 2005), foram consideradas cinco categorias de impacto: o potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, potencial de eutrofização, toxicidade humana e ecotoxicidade aquática. A partir do CML-guide, 1992, foram seleccionadas os factores de impacto (f_i) associados às diferentes emissões para as diferentes categorias de impacto ambiental. Essas

categorias estão apresentadas na Tabela 4.19, bem como os factores de impacte associados às respectivas emissões.

O potencial de aquecimento global (PAG) [ton CO₂ equivalente.ano⁻¹] é calculado a partir de

$$PAG = \sum_i^n f(PAG_i).E_i \quad , i = CO_2, N_2O, CH_4 \quad (Eq. 4.17)$$

O potencial de acidificação (PA) [ton SO₂ equivalente.ano⁻¹] é calculado a partir de

$$PA = \sum_i^n f(PA_i).E_i \quad , i = NH_3, NO_x, SO_x, HF, HCl \quad (Eq. 4.18)$$

O potencial de eutrofização (PE) [ton PO₄³⁻equivalente.ano⁻¹] obtido a partir da equação 4.19,

$$PE = \sum_i^n f(PE_i).E_i \quad , i = NH_3, NH_4^+, COD, NO_3^-, N, NO_x, P \quad (Eq. 4.19)$$

A toxicidade humana (TH) [ton tecido contaminado.ano⁻¹] obtida a partir da equação 4.20,

$$TH = \sum_i^n f(HCA_i).E_i(\text{gasosa}) + f(HCW_i).E_i(\text{líquida}) \quad (Eq. 4.20)$$

$$i = NH_4^+, C_6H_6, Ni, CO, SO_x, H_2S, NO_x$$

E a ecotoxicidade aquática (ECA) [m³água poluída.ano⁻¹] obtida a partir da equação 4.21,

$$ECA = \sum_i^n f(ECA_i).E_i \quad , i = C_6H_6, Cd, Pb, Hg, PCB, Cu, Zn \quad (Eq. 4.21)$$

Tabela 4.19 – Substâncias mais comuns e os respectivos impactes (traduzidos por factores de impacte) nas diversas categorias

Substância	Categorias de impacte					
	PAG (horizonte de 100 anos) [ton CO ₂ equiv.ano ⁻¹]	PA [ton SO ₂ equiv.ano ⁻¹]	PE [ton PO ₄ ³⁻ equiv.ano ⁻¹]	TH [ton tecido.ano ⁻¹]		ECA [m ³ água poluída.ano ⁻¹]
				HCA	HCW	
Amoníaco (NH ₃)		1,88	0,35			
Ácido clorídrico (HCl)		0,88				
Ácido fluorídrico (HF)		1,6				
Ácido sulfídrico (H ₂ S)				0,78		
Arsénio (As)				4,7	1,4	2,00E+05
Cádmio (Cd)				580	2,9	2,00E+08
Crómio (Cr)				6,7	0,57	1,00E+06
Cobalto (Co)				24		
Cobre (Cu)				0,24		
Chumbo (Pb)				160	0,179	2,00E+06
Manganês (Mn)				120		
Mercúrio (Hg)				120	4,7	5,00E+08
Níquel (Ni)				470		
Estanho (Sn)				0,017		
Vanádio (V)				120		
Zinco (Zn)				0,033		
Azoto (N)			0,42			
Óxidos de azoto (NO _x)		0,7	0,13	0,78		
Dióxido sulfúrico (SO ₂)		1		1,2		
Metano (CH ₄)	11					
Clorobenzenos (C ₆ H ₅ Cl)				0,19		
Clorofenóis				11		
Policlorobifenis (PCB)				370	32	4,00E+08
Benzeno (C ₆ H ₆)				3,9		
Benzopireno (C ₂₀ H ₁₂)				17		
Naftaleno (C ₁₀ H ₈)				0,7		
Fenantreno (C ₁₄ H ₁₀)				1,7		
Dióxido de carbono (CO ₂)	1					
Monóxido de carbono (CO)				0,012		
Óxido nitroso (N ₂ O)	270					
Amónia (NH ₄ ⁺)			0,33		0,002	
Nitrato (NO ₃ ⁻)			0,1		0,00078	
Fosfato (PO ₄ ³⁻)			1		0,000041	
CQO			0,022			

4.5.2 Resultados dos impactes ambientais

A Tabela 4.20 ilustra os resultados finais por categoria de impacte relativamente a cada cenário de RU e RINP.

Tabela 4.20 – Resultados obtidos para as categorias de impacte ambiental nos diferentes cenários de resíduos urbanos e resíduos industriais não perigosos

Categorias de impacte	RU			RINP	
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário3	Cenário#1	Cenário #2
PAG [ton CO ₂ equivalente.ano ⁻¹]	4,02E+05	1,80E+05	5,08E+05	1,64E+06	2,20E+06
PA [ton SO ₂ equivalente.ano ⁻¹]	1,79E+02	1,36E+03	4,21E+02	8,35E+02	1,31E+03
PE [ton de PO ₄ ³⁻ equivalente.ano ⁻¹]	7,21E+01	3,09E+02	7,83E+01	3,10E+02	3,44E+02
TH [ton tecido. ano ⁻¹]	2,03E+02	1,68E+02	4,47E+02	9,65E+02	1,51E+03
ECA [m ³ água poluída.ano ⁻¹]	5,28E+05	1,47E+05	5,58E+04	2,12E+06	1,59E+06

4.5.3 Avaliação comparativa de cenários

Depois de calculadas as categorias de impacte ambiental relevantes foi possível comparar em cada categoria e em cada cenário, a contribuição de cada substância.

4.5.3.1 Resíduos urbanos

Assim, na Figura 4.16 podem ser observados os resultados referentes à categoria de impacte aquecimento global, onde foram considerados os parâmetros CO₂ (fóssil e renovável), CH₄ (renovável e fóssil) e N₂O medidos como CO₂ equivalente.

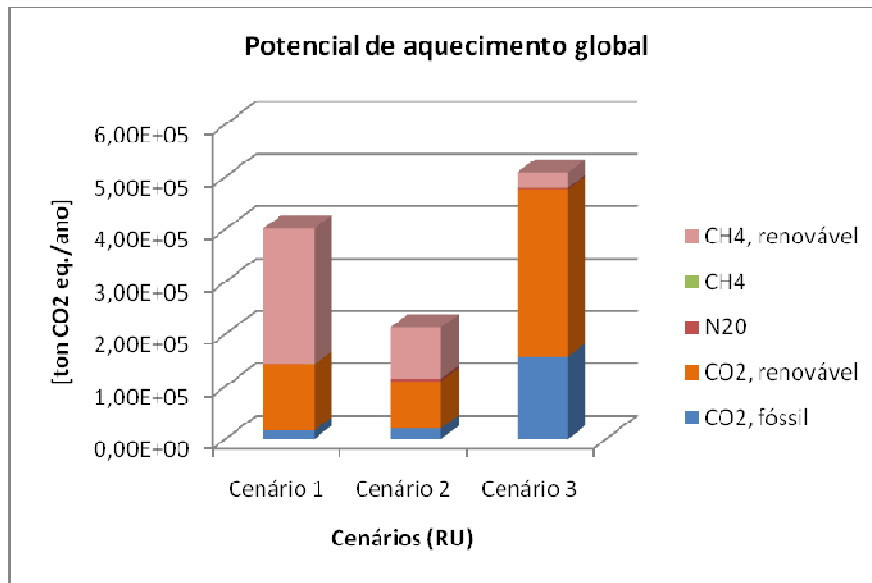


Figura 4.16 – Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacte potencial de aquecimento global em cada cenário de RU

Da Figura 4.16 pode constatar-se que o cenário 3 é o que apresenta maior contribuição para o aquecimento global, sendo então, para esta categoria, o cenário mais desfavorável. Os elevados valores de CO₂ no cenário 3 devem-se ao processo de incineração, em que 2/3 do carbono presente no resíduo é renovável e 1/3 é fóssil. Ainda para o CO₂ pode referir-se que a fracção renovável é muito superior à fracção fóssil no cenário 1, devendo-se essa diferença ao processo do aterro.

As elevadas quantidades de CH₄ renovável no cenário 1 são provenientes principalmente do processo de aterro e compostagem, em resultado da decomposição da matéria orgânica.

Na Figura 4.17 podem observar-se os resultados referentes à categoria potencial de acidificação, onde foram consideradas as substâncias SO₂, NO_x, NH₃, HCl e HF medidos como SO₂ equivalente.

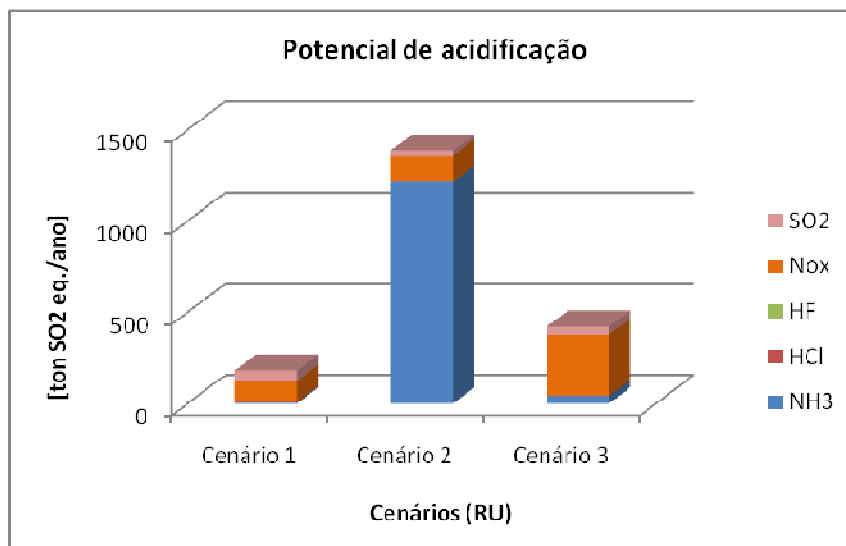


Figura 4.17 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto potencial de acidificação em cada cenário de RU

Analisando a Figura 4.17 é possível constatar que o cenário que apresenta maior potencial de acidificação é o cenário 2, sendo este o mais desfavorável para esta categoria de impacto.

Pode observar-se também que o parâmetro com maior contribuição no cenário 2 é o amoníaco (NH_3), sendo esta substância proveniente em maiores quantidades do processo de compostagem. No cenário 1 e cenário 3 o parâmetro com maior contribuição é o óxido nítrico (NO_x), sendo que este valor no primeiro cenário deve-se maioritariamente ao aterro enquanto que no cenário 3 deve-se essencialmente à incineração.

A Figura 4.18 apresenta os resultados referentes à categoria de impacto ambiental potencial de eutrofização, onde foram considerados os parâmetros N, NO_3^- , COD e NH_4^+ (emissões líquidas), NO_x e NH_3 (emissões gasosas).

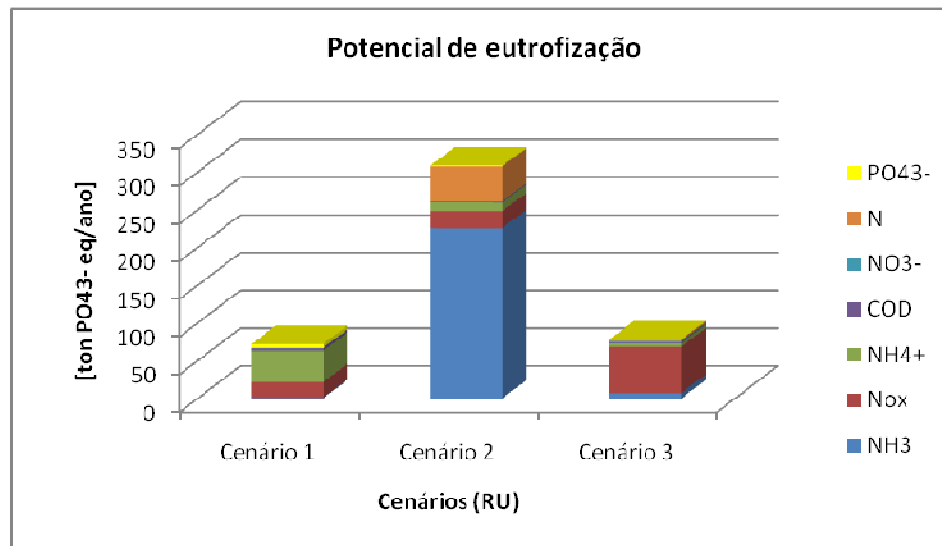


Figura 4.18 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacte potencial de eutrofização em cada cenário de RU

Como se pode observar na Figura 4.18, o cenário 2 é o que apresenta maior potencial de eutrofização.

O NH_3 é o parâmetro com maior influência no cenário 2, devido ao processo de compostagem, enquanto no cenário 1 é o NH_4^+ , sendo esta substância proveniente essencialmente do aterro. Para o cenário 3 a substância com maior intervenção é o NO_x , sendo esta proveniente maioritariamente do processo de incineração, como já foi anteriormente referido.

Na Figura 4.19 são apresentados os resultados relativamente à categoria de impacte ambiental toxicidade humana. Esta foi a categoria onde foi possível obter dados de substâncias poluentes intervenientes. No entanto, como a contribuição de algumas é mínima, e não influenciam os resultados finais, apenas foram considerados o CO, NH_4^+ , H_2S , SO_2 , C_6H_6 , Ni e NO_x . As restantes substâncias podem ser observadas no **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** Esta categoria considera as emissões gasosas e atmosféricas.

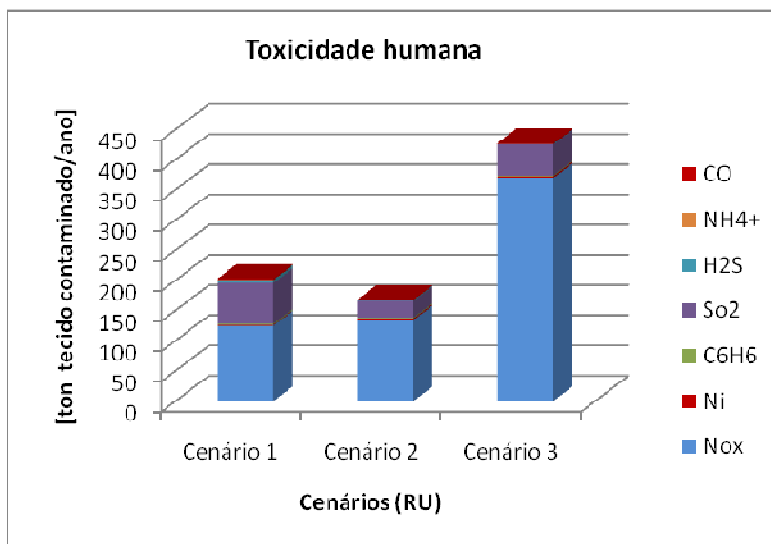


Figura 4.19 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto toxicidade humana em cada cenário de RU

Através da análise do gráfico pode constatar-se que o cenário que apresenta maior índice de toxicidade humana é o cenário 3.

Em todos os cenários a substância que mais contribui para esta categoria de impacto é o NO_x. Para o cenário 1 as elevadas quantidades dessa substância devem-se essencialmente ao aterro, enquanto no cenário 2 são provenientes na sua maioria do processo de transporte dos resíduos e do processo de compostagem. Para o cenário 3, essa substância deve-se maioritariamente à incineração.

Na Figura 4.20 podem observar-se resultados referentes à categoria de impacto ambiental ecotoxicidade aquática. Nesta categoria foram consideradas as emissões líquidas de Cr, As, PCB's, Hg, Pb e Cd.

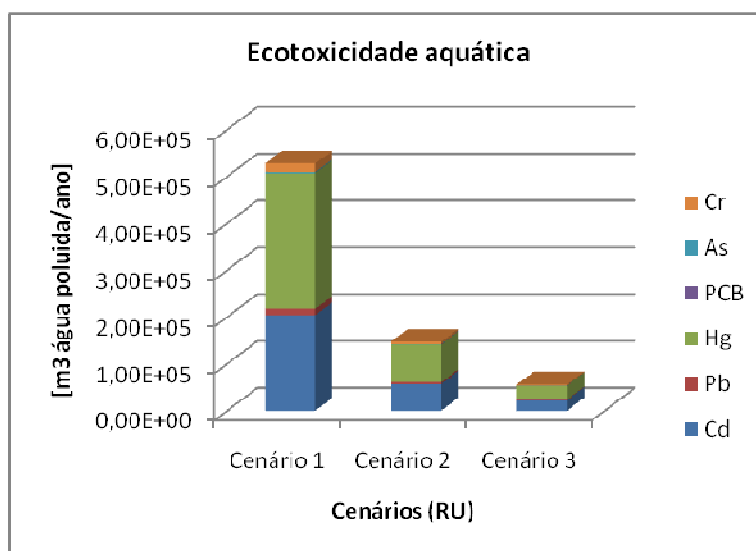


Figura 4.20 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacte ecotoxicidade aquática em cada cenário de RU

Analisando a Figura 4.20 pode constatar-se que o cenário 1 é o que se apresenta mais desfavorável nesta categoria, sendo o mais favorável o cenário 3. Em todos os cenários, a substância que mais contribui para a ecotoxicidade aquática é o mercúrio, seguindo-se o cádmio. Ambas as substâncias em todos os cenários são provenientes maioritariamente do processo de aterro.

4.5.3.2 Resíduos industriais não perigosos

Relativamente aos RINP, as categorias de impacte ambiental seleccionadas foram as mesmas que nos RU, tendo sido consideradas para o respectivo cálculo as mesmas emissões.

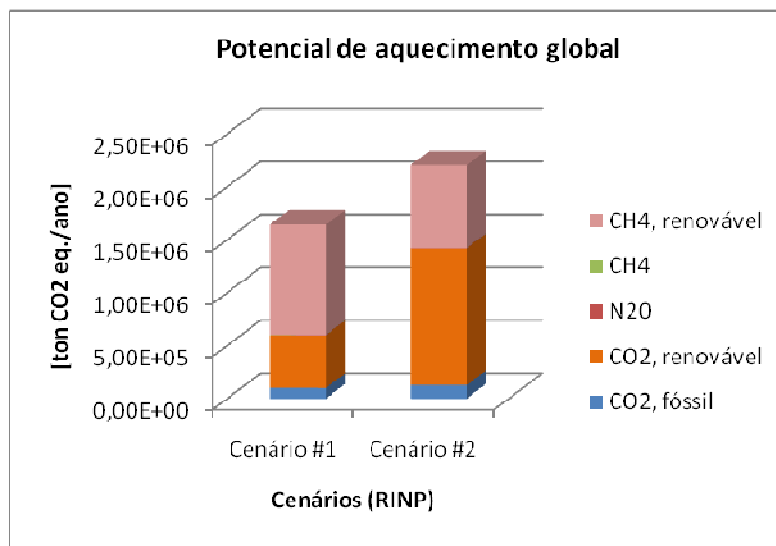


Figura 4.21 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacte potencial de aquecimento global em cada cenário de RINP

Da Figura 4.21 pode constatar-se que o cenário que com maior potencial de aquecimento global é o cenário #2.

O parâmetro com maior contribuição para esta categoria de impacte ambiental é, como seria de esperar, o CO₂, sendo na sua maioria a fracção renovável desta substância. Este valor deve-se ao facto da maior parte do RINP a incinerar ser composta por papel, sendo assim o CO₂ emitido o renovável.

Os valores elevados de CH₄ devem-se ao processo de aterro em ambos os cenários.

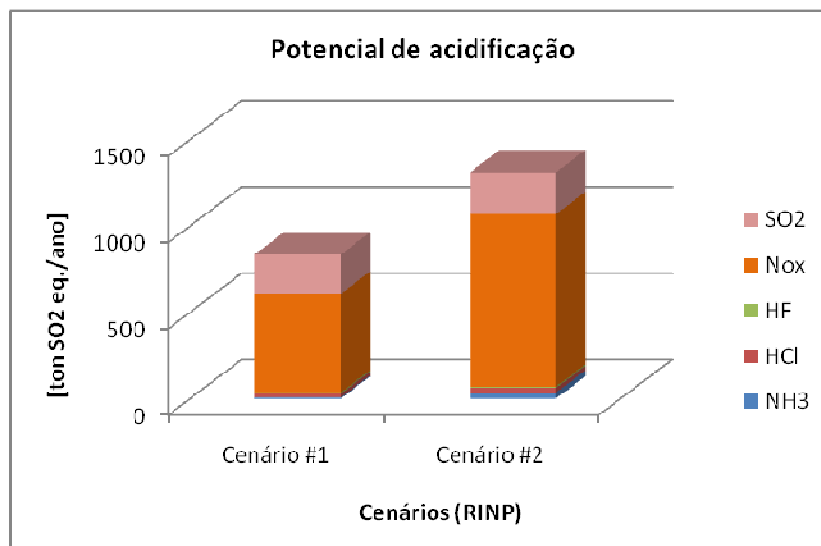


Figura 4.22 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacte potencial de acidificação em cada cenário de RINP

Pode observar-se na Figura 4.22 que o cenário #2 é o que se apresenta mais desfavorável, já que apresenta valores mais elevados.

O parâmetro com maior contribuição em ambos os cenários é o NO_x , devendo-se no cenário #1 maioritariamente ao processo de incineração e no cenário #2 maioritariamente ao transporte de resíduos, sendo também o aterro responsável por grande parte da emissão desta substância.

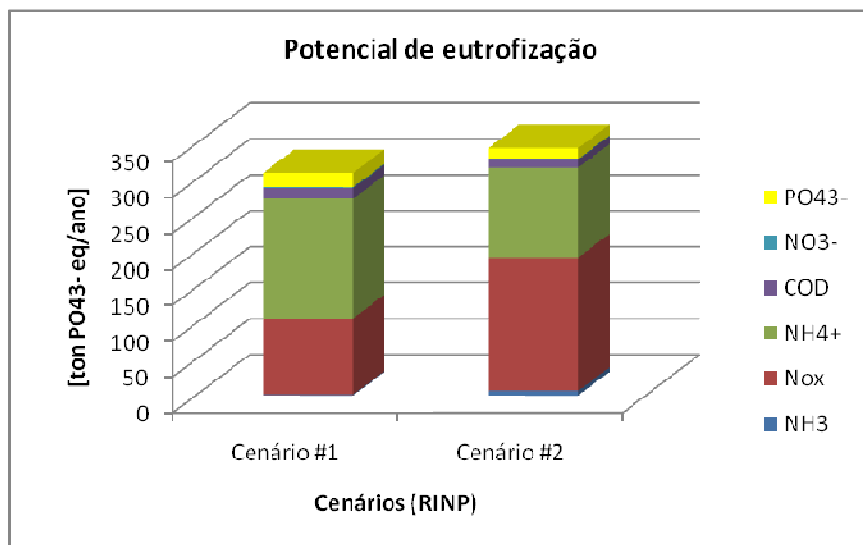


Figura 4.23 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto potencial de eutrofização em cada cenário de RINP

Da análise da Figura 4.23 pode constatar-se que o cenário que apresenta maior potencial de eutrofização é o cenário # 2, embora a diferença entre este cenário e o cenário #1, seja baixa. Verifica-se ainda que a emissão de NH_4 está relacionada com o aterro e a emissão de NO_x com a incineração e o transporte.

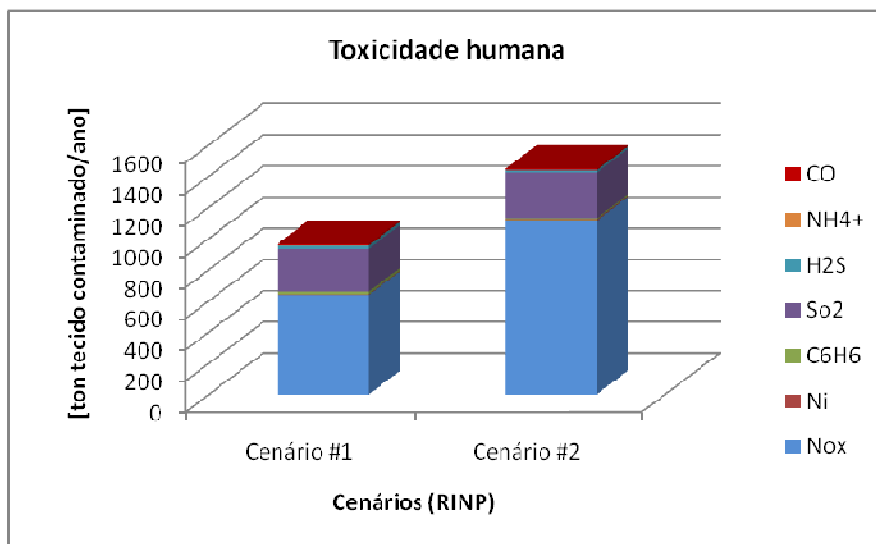


Figura 4.24 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto toxicidade humana em cada cenário de RINP

Analisando a Figura 4.24 verifica-se que o cenário #2 apresenta valores mais elevados para a categoria de impacto toxicidade humana, o que significa ser este o cenário mais desfavorável nesta categoria. Em ambos os cenários o NO_x é a substância com maior contribuição, seguindo-se do SO_2 . As emissões de NO_x devem-se maioritariamente ao processo de transporte de resíduos para o cenário #1 e ao processo de incineração para o cenário #2.

Tal como para os RU, também para os RINP apenas foram consideradas algumas substâncias, podendo as restantes ser observadas no **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

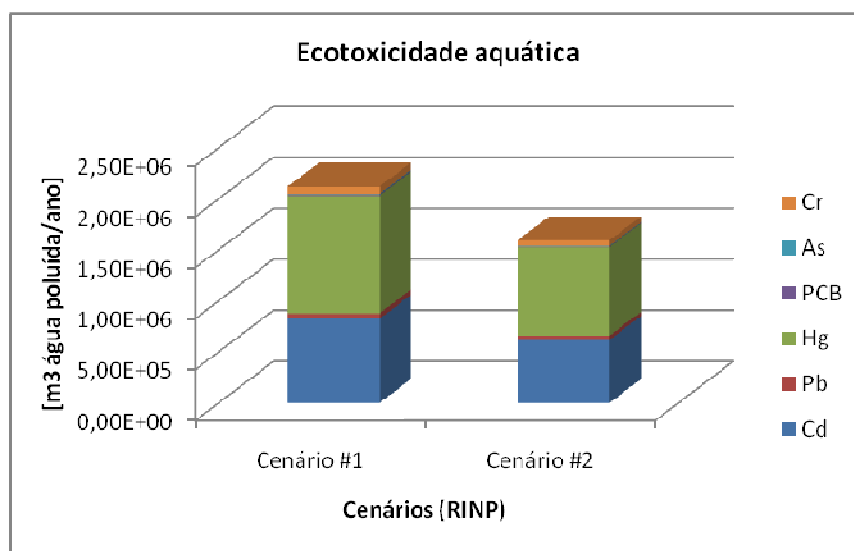


Figura 4.25 - Contribuição de cada substância interveniente na categoria de impacto ecotoxicidade aquática em cada cenário de RINP

Observando a Figura 4.25 pode constatar-se que o cenário #1 apresenta valores mais elevados para a ecotoxicidade aquática. A substância com maior peso nesta categoria é o mercúrio em ambos os cenários, seguindo-se o cádmio. Tal como para os resíduos urbanos, estas substâncias são provenientes essencialmente dos lixiviados gerados nos aterros.

5 Conclusões

Este trabalho foi realizado com o objectivo de estudar diferentes cenários de gestão para os resíduos urbanos e industriais produzidos no âmbito da Região Centro de Portugal Continental.

As quantidades de resíduos anuais consideradas no âmbito deste estudo estão resumidas na tabela seguinte.

Tabela 5.1 – Quantidades totais anuais de resíduos industriais e urbanos considerados no estudo

Cenários	RU		RINP
	Cenário 1	Cenário 2 e 3	Cenário #1 e #2
Quantidades totais anuais [kton]	700	650	2580

Para o efeito deste estudo foram elaborados diferentes cenários de gestão. Para cada um dos cenários foi avaliado o esforço de transporte, e considerados diferentes processos de tratamento e eliminação. Na Tabela 5.2 estão apresentados resumidamente os respectivos processos utilizados em cada cenário, bem como as respectivas percentagens de resíduos que foram tratados por cada processo. Note-se que o processo de transporte não é apresentado nessa tabela, no entanto, este foi incluído em todos os cenários avaliados.

Tabela 5.2 – Processos de tratamento e/ou eliminação utilizados em cada cenário

Cenários		Recolha selectiva [%]		Recolha indiferenciada [%]		
		Valorização orgânica	Valorização material	TMB	Incineração	Aterro directo
RU	Cenário 1	-	8,7	1,2	-	90,1
	Cenário 2	18	18	60,5	-	3,5
	Cenário 3	25	20	-	52	3,0
RINP	Cenário #1	-	-	-	-	100
	Cenário #2	-	-	-	25,4	74,6

5.1 Conclusões do estudo

Para uma análise global dos resultados obtidos utilizou-se uma metodologia em que se comparam os resultados obtidos para cada cenário através de uma pontuação, para tornar mais fácil essa análise. Assim, para os resíduos urbanos, utiliza-se uma pontuação de 1 a 3, sendo 1 a situação mais favorável e 3 a situação mais

desfavorável. Para os resíduos industriais, utiliza-se uma pontuação de 1 a 2, representando 1 a situação mais favorável e 2 a situação mais desfavorável. Os resultados dessas pontuações podem ser observados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Comparação de resultados entre os diferentes cenários

Cenários		Categorias de impacte					Consumo de combustíveis	Electricidad e gerada	Resíduos finais	Materiais recicláveis
		PA G	PA	PE	TH	ECA				
RU	Cenário 1	2	1	1	2	3	1	2	3	3
	Cenário 2	1	3	3	1	2	3	3	1	2
	Cenário 3	3	2	2	3	1	2	1	2	1
RIN P	Cenário #1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Cenário #2	2	2	2	2	1	1	1	1	1

Conforme se verifica actualmente (cenário 1), na Região Centro em estudo, a deposição em aterro prevalece sobre as tecnologias de valorização, com percentagens de deposição na ordem dos 90%.

Esta situação revela uma política de gestão pouco orientada para a prevenção e recuperação (reutilização, valorização material, valorização orgânica e valorização energética) e claramente dirigida para a eliminação em aterro.

A Directiva 1999/31/EC relativa à deposição de resíduos orgânicos em aterro traça metas de redução de 65% até ao ano de 2016, sendo então o cenário 1 do tratamento de resíduos urbanos inaceitável numa situação futura.

Em relação ao cenário 2, embora os orgânicos provenientes do tratamento mecânico dos resíduos indiferenciados sejam tratados por compostagem, considera-se que o composto obtido pode estar contaminado (com metais pesados, por exemplo), não podendo ser utilizado como fertilizante nos solos, sendo então o composto daí resultante enviado para aterro.

Este estudo mostra que o cenário 3, com 45% de recolha selectiva, incluindo 25% de recolha de orgânicos e com os restantes 55% de resíduos provenientes da recolha indiferenciada a serem incinerados, cumpre as metas traçadas pela Directiva Europeia anteriormente referida relativamente à deposição de resíduos orgânicos em aterro.

5.1.1 Utilização de energia

As formas de energia consideradas nesta avaliação foram o petróleo, gás natural, diesel, energia eléctrica e energia térmica.

Através da análise da Tabela 5.3 pode concluir-se que para os RU, o cenário que apresenta maior consumo de combustíveis é o cenário 2, relativo ao tratamento mecânico-biológico. O cenário referente à situação actual é o que apresenta menor consumo de combustíveis.

Para os RINP, é o cenário #1, relativo à deposição de todos os RINP em aterro o que apresenta maiores quantidades de combustíveis consumidos, sendo então o cenário #2, onde uma parte dos RINP são incinerados, o que apresenta menores quantidades de combustíveis consumidos.

Ainda nos combustíveis utilizados é importante referir que para os RU, a energia eléctrica produzida no cenário 3 é muito superior à energia eléctrica consumida, o que se traduz num saldo elevado como pode ser observado na Figura 4.11. Ainda na mesma figura, pode verificar-se que o cenário 2 (tratamento mecânico-biológico) apresenta valores bastante negativos, o que significa que a quantidade de energia eléctrica produzida não supera a consumida. Nos RINP, como seria de se esperar, é no cenário #2 que se encontra um balanço positivo maior, relativamente ao cenário #1.

Relativamente à energia térmica produzida, pode afirmar-se perante os resultados obtidos que, para os RU, existe uma produção bastante elevada da mesma no cenário 3 relativamente aos restantes cenários, devendo-se esta acentuada diferença ao processo da incineração, onde há produção deste tipo de energia. No que diz respeito aos RINP, tal como para os RU, também o cenário respeitante à incineração (cenário #2) apresenta valores bastante elevados de energia térmica, relativamente ao cenário #1, pelo mesmo motivo já referido para o caso dos RU.

5.1.2 Materiais para reciclagem

Em todos os cenários de gestão avaliados esteve presente a recolha selectiva de materiais recicláveis. Para além destes, durante os processos de tratamento também são produzidos outros materiais que podem ser utilizados na reciclagem, como por exemplo, cinzas e sucatas.

Para este tipo de produtos, pode concluir-se que para os RU o cenário 3 é o que apresenta maiores quantidades produzidas, devido às elevadas quantidades de materiais destinados à reciclagem provenientes da recolha selectiva e também das

escórias resultantes do processo de incineração. Para os RINP pode verificar-se que é o cenário #2 que apresenta maiores quantidades destes produtos, devendo-se então este facto apenas ao processo de incineração.

5.1.3 Resíduos e emissões

Fazendo uma análise à avaliação geral do Inventário de Ciclo de Vida, no que diz respeito às emissões líquidas e gasosas deste estudo, é possível concluir que é o cenário 1 que apresenta menores quantidades para emissões gasosas, sendo o cenário 3 o que apresenta menores quantidades de emissões para a água, para os RU. No que concerne aos RINP verifica-se que para as emissões gasosas é o cenário #1 (eliminação em aterro) que apresenta menores quantidades emitidas, enquanto para as emissões par a água é o cenário #2 que apresenta menores valores.

Relativamente à quantidade final de resíduos produzidos, conclui-se que é o cenário 1, relativo à situação actual, o que origina maiores quantidades de resíduos sólidos finais, seguindo-se o cenário 3 (relativo à incineração) e, posteriormente o cenário 2 (relativo ao tratamento mecânico-biológico), para os RU. Em relação aos RINP, tal como nos RU, é o cenário relativo ao aterro (cenário #1), aquele que apresenta maiores quantidades de resíduos finais produzidas, relativamente ao cenário #2.

5.1.4 Comparação de cenários (categorias de impacte)

No que concerne à avaliação de impactes ambientais, ao analisar a Tabela 5.3 pode concluir-se que para os RU não há nenhum cenário que apresente os melhores resultados em todas as categorias de impacte, sendo o cenário 1 o que apresenta melhores resultados no global.

Relativamente aos RINP, analisando a Tabela 5.3, pode concluir-se que em quase todas as categorias de impacte consideradas o cenário #1 apresenta os resultados mais favoráveis, com excepção da categoria de ecotoxicidade aquática.

5.2 Limitações do método utilizado

No decorrer do trabalho realizado foram encontradas algumas dificuldades em vários pontos, nomeadamente na obtenção de dados a partir do SIRER (localização dos resíduos com código LER em cada município), na utilização da aplicação Umberto e na obtenção de informações de dados de recolha de resíduos (distâncias).

Assim, deve salientar-se que todos os resultados obtidos só devem ser considerados válidos de acordo com os pressupostos assumidos, pressupostos esses que foram referidos ao longo do trabalho.

No que diz respeito à obtenção de dados relativos à produção de resíduos industriais de tipologia LER_i com interesse para valorização energética em cada município, utilizou-se uma metodologia em que cada LER_i foi distribuído uniformemente nos vários municípios, o que pode não corresponder à realidade, já que nem todas as tipologias de LER_i são produzidas igualmente em cada município.

Relativamente à metodologia desenvolvida para encontrar as distâncias de recolha de resíduos recicláveis e resíduos urbanos, é importante referir que esta foi feita assumindo alguns pressupostos. Para os resíduos recicláveis, utilizam-se dados de distâncias referentes a recolhas de resíduos dos municípios geridos pela ERSUC, dados estes que estão relacionados com a área dos municípios e os resíduos produzidos nos mesmos. A aproximação de cálculo feita para os restantes municípios da Região Centro relaciona os dados obtidos pela ERSUC apenas com as quantidades de resíduos produzidas nos restantes municípios, o que pode comprometer a validade dos dados obtidos, já que há municípios da Região Centro que têm áreas bastante extensas relativamente à quantidade de resíduos produzidas, aumentando assim as distâncias de recolha. Para os resíduos urbanos foi encontrado o mesmo problema, já que foram utilizados dados de um estudo realizado para o município de Aveiro, que tem características urbanas que não se encontram em alguns municípios da área de estudo.

Em relação ao transporte de RINP para aterro, não foi encontrado qualquer tipo de informação acerca do local (Leiria ou Castelo Branco) em que os resíduos provenientes de cada município são eliminados, sendo então essa distribuição feita de acordo com a proximidade geográfica de cada município aos respectivos aterros. Esta situação pode comprometer a validade dos resultados obtidos, já que a maioria das indústrias se localizam no Litoral da região em estudo, o que resulta numa diferença bastante acentuada entre as quantidades enviadas para os aterros de Castelo Branco e Leiria, o que pode não corresponder à realidade.

No que diz respeito à aplicação Umberto, este apresenta algumas limitações tanto ao nível da aplicação em si, como nas bases de dados neles existentes, que, nalgumas situações não se adaptam ao caso de estudo. Em termos de manuseamento a aplicação Umberto não é de fácil percepção nem utilização, o que dificulta a adaptação das bases de dados nela existentes ao caso de estudo. Como exemplo,

pode ser referido o processo de aterro, que, apesar de ter uma sub-rede onde é mostrada transição referente à produção de energia eléctrica (“mix” de produção da Alemanha), as funções lá existentes são de difícil percepção, sendo bastante complicado alterar essas funções para adaptar a transição de produção de energia eléctrica à realidade de Portugal.

5.3 Sugestões para trabalho futuro

No fim do trabalho realizado concluiu-se que este ainda apresenta alguns pontos que podem vir a ser trabalhados no futuro.

Os resultados obtidos apenas se referem a impactes ambientais, não sendo considerado o factor custo. Então sugere-se que seja feita uma avaliação de custos de todos os cenários propostos (Análise de Custo-Benefício Social), para que as conclusões tiradas acerca do estudo envolvam todos os factores importantes para uma avaliação de cenários consistente.

Como já foi referido anteriormente, as bases de dados existentes no Umberto não se adequam em alguns aspectos à situação existente em Portugal, então sugere-se que haja uma reformulação das transições existentes na biblioteca do Umberto ou construção de uma nova biblioteca que apresente condições mais adequadas à realidade de Portugal, como por exemplo o processo do aterro (“mix” da produção de energia eléctrica adequada a Portugal).

Sugere-se também que as bases de dados existentes no SIRER acerca da produção e localização das tipologias de resíduos estejam disponíveis para consulta pública, para que seja possível uma discriminação adequada das quantidades e tipologias de resíduos produzidos nos diferentes municípios que é necessário gerir, nomeadamente em termos de localização de infra-estruturas e custos.

Em relação ao transporte de resíduos industriais não perigosos, sugere-se que, em estudos futuros, seja considerada e estudada a existência de estações de transferência para o transbordo deste tipo de resíduos, para diminuir assim o esforço e consequentemente os custos e impactes ambientais resultantes do transporte destes resíduos.

Bibliografia

- Belevi, H. and Moench, H., “Factors Determining the Element Behaviour in Municipal Solid Waste Incinerators – Field Studies”, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, Switzerland, 2000.
- Braga, I.D. e Francisco S.C., “Produção de Resíduos Industriais na Região Centro em 2005”, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, Dezembro de 2006.
- Câmara Municipal da Mealhada, “Loteamento da Zona Industrial da Pedrulha – Estudo de Impacte Ambiental”, Mealhada, Agosto de 2005.
- Ceifa ambiente, “Formação Inicial – Software UMBERTO: Modelação do fluxo de materiais numa Cervejaria”, Lisboa, Outubro de 2006.
- Portaria 187/2007, Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) II, 12 de Fevereiro de 2006
- Decreto-Lei nº 85/2005. Estabelece o regime legal da incineração e co-incineração de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva nº 2000/76/CE.
- Decreto-Lei nº 152/2002, 23 de Maio. Estabelece o regime jurídico a que fica sujeito o procedimento para a emissão de licença, instalação, exploração, encerramento e manutenção pós-encerramento de aterros destinados à deposição de resíduos e procede à transposição para a ordem jurídica nacional.
- Decreto-Lei n.º178/2006, 5 de Setembro. Aprova o regime da gestão de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva nº 2006/12/CE e a Directiva nº 91 /61/CEE.
- Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, “Estudo Comparativo de Custos de Soluções de Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos Urbanos – Relatório Final”, Junho de 2004, Universidade Nova de Lisboa.
- Directiva 1999/31/CE, 26 de Abril. Directiva do Conselho relativa à deposição de resíduos em aterro.
- Directiva 2000/76/CE, 4 de Setembro. Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à incineração de resíduos
- Directiva 2006/12/CE, 5 de Abril. Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa aos resíduos.
- Empresa Geral do Fomento. “Projecto de Tratamento, Valorização e Destino Final dos resíduos Sólidos Urbanos da ERSUC”. Lisboa, 2006.

- Filho, M.M. e Frank, B., "Balanço Ambiental de processos como ferramenta para a gestão ambiental", Fundação Universidade Regional de Blumenau.
- Geldermann, J. e Rentz, O., "Decision Support Mass and Energy Flow Management in the Vehicle-Refinishing Sector", Journal of Industrial Ecology, 2004.
- Guinée, J.B., Huppes, G., Lankreijer, R.M., Udo de Haes, H.A., Wegener Sleeswijk, A., (Guide October 1992) "Environmental Life Cycle Assessment of Products".
- Hannequart, J-P., Radermaker, F. e Saintmard, C., "Gestão dos Resíduos Domésticos Biodegradáveis: Que perspectivas para as autoridades locais europeias?", Association of Cities and Regions for Recycling and Sustainable Resource Management, Bruxelles.
- ISO 14040:1997. "Gestão ambiental, Avaliação do ciclo de vida, Princípios e enquadramento". ISO International Organization for Standardization. Norma Portuguesa (2005) Instituto Português da Qualidade.
- Levy, J.Q., Teles, M. Madeira, L. e Pinela, A., "O Mercado dos Resíduos em Portugal", Lisboa, Setembro de 2002.
- Lopes, M., "Contribuição para um modelo de gestão sustentável de resíduos urbanos a nível municipal", Universidade de Aveiro, 2008
- Macedo Vitorino e Associados, "A gestão de resíduos em Portugal", Setembro de 2006
- Matos, F., "Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Resíduos Industriais Banais (RIB) por incineração", Aveiro, Junho de 2002.
- Matos, M.A., "A Análise de Ciclo de Vida aplicada à Gestão de RSU", Universidade de Aveiro, 2007
- Matos, M.A., "A Gestão dos Resíduos na Indústria", Aveiro, Maio de 2007
- Matos, M.A., "Análise de fluxo de materiais", Universidade de Aveiro, 2007.
- Matos, M.A., "Caracterização de Resíduos Sólidos", Universidade de Aveiro, 2004
- Matos, M.A., "Enquadramento legal da gestão de resíduos", Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Setembro de 2007.
- Matos, M.A., "Operações de recolha, transporte e transferência", Universidade de Aveiro, 2003.
- Matos, M.A. e Gomes, A.P., "Estratégia de gestão dos resíduos biodegradáveis dos RSU em Portugal", Aveiro.
- Matos, M.A., Gomes, A.P., Tarelho L.A., Nunes, M.I., Ferreira, V., Marques, A.S., Teixeira, C.A. e Bentes, I., "O QREN e a oportunidade para uma gestão integrada de resíduos em Portugal".
- Matos, M.A., Rodrigues, N.J., Costa, P.M. e Lima, M.J., "Aplicação da Metodologia da Análise de Ciclo de Vida (ACV) à Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em Portugal Continental".

- McDougall, F., White, P., Franke, M. e Hindle, P., (2001). "Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory", second edition
- Möller, A., Häuslein, A. e Rolf A., "Öko-controlling in Handelsunternehmen – Ein Leitfaden für das Stoffstrommanagement", Berlin, 1997.
- Pereira, F. A., "Introdução à AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)", Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 2005.
- Plano Intervenção de Resíduos Sólidos e Equiparados, Despacho 454/2006, 9 de Janeiro.
- Portaria n.º 209/2004, 3 de Março,"Publicação da LER".
- Ribeiro, P.J., " A Ecologia Industrial e a Gestão de Resíduos em Portugal: Políticas e Ferramentas para o Fecho dos Ciclos dos Materiais", Universidade Técnica de Lisboa, Dezembro 2007.
- Rocha, C.L., "Desenvolvimento de um sistema integrado de gestão de resíduos de natureza orgânica", Universidade de Aveiro, 2007.
- Rodrigues, N. e Costa, P., "Análise de Ciclo de Vida aplicada à Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)", Aveiro, Junho de 2006.
- Romeiro, C. e Ferreira, M., "Projecto e Operação de uma Instalação de Compostagem Municipal", Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento, 2004.
- Saintmard, C., "Prevenção de resíduos em planos regionais de gestão de resíduos – Estudo Comparativo de 7 entidades regionais e sub-regionais na Europa", Bruxelas, Junho de 2006.
- Sousa, M.J., "A Gestão Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos: Contributo para uma Gestão Integrada", Universidade de Aveiro, 2007.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. e Virgil, S. "Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues". McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series. Singapore, 1993.
- Tellenbach, M., "Lyfe Cycle Assessement as a Decision Tool in Environmental Policy", Lausanne, 2008.
- UMBERTO" A Software Tool for Life Cycle Assessment and Material Flow Analysis – User Manual "Heidelberg, Institut für Umweltinformatik, Hamburg; und Institut für Energie und Umweltforschung,1998.
- UMBERTO, "Transition report", Aveiro, 2008

Sites consultados:

<http://maps.google.pt>

www.adp.pt

www.ambienteonline.pt

www.am-raiapinhal.com

www.amr-planaltobeirao.pt

www.apambiente.pt

www.b-on.pt

www.ccdrc.pt

www.diramb.gov.pt

www.ERSUC.pt

www.ine.pt

www.lipor.pt

www.netresiduos.pt

www.sirer.net

www.umberto.de

www.valnor.pt

Anexo A – Dados relativos à área, população, produção de RU e sistemas de gestão da região Centro para o Cenário 1

Tabela A.1 – Dados relativos à área, população, produção de RU e sistemas de gestão da região Centro (1/2)

Distrito	Concelho	Sistema de Gestão	Produção RU [ton]	População	Área [km ²]
Aveiro	Águeda	ERSUC	16083	49558	335
Aveiro	Albergaria-a-Velha	ERSUC	7283	24912	155
Aveiro	Anadia	ERSUC	9725	31803	217
Aveiro	Aveiro	ERSUC	39098	74063	200
Aveiro	Estarreja	ERSUC	8845	28331	108
Aveiro	Ílhavo	ERSUC	21907	37596	73
Aveiro	Mealhada	ERSUC	7214	21001	111
Aveiro	Murtosa	ERSUC	4894	9479	73
Aveiro	Oliveira do Bairro	ERSUC	7759	21411	87
Aveiro	Ovar	ERSUC	26382	55759	147
Aveiro	Sever do Vouga	ERSUC	2976	13178	130
Aveiro	Vagos	ERSUC	7475	22334	165
Coimbra	Arganil	ERSUC	3998	13636	333
Coimbra	Cantanhede	ERSUC	11201	38026	391
Coimbra	Coimbra	ERSUC	64952	149497	319
Coimbra	Condeixa-a-Nova	ERSUC	5748	15577	139
Coimbra	Figueira da Foz	ERSUC	32639	62837	379
Coimbra	Góis	ERSUC	1519	4831	263
Coimbra	Lousã	ERSUC	5841	16010	138
Coimbra	Mira	ERSUC	6216	12868	124
Coimbra	Miranda do Corvo	ERSUC	4524	13210	126
Coimbra	Montemor-o-Velho	ERSUC	8521	25516	229
Coimbra	Pampilhosa da Serra	ERSUC	1638	5179	396
Coimbra	Penacova	ERSUC	4064	16789	217
Coimbra	Penela	ERSUC	1844	6579	135
Coimbra	Soure	ERSUC	6420	20921	265
Coimbra	Vila Nova de Poiares	ERSUC	2614	7137	84
Coimbra	Tábua	Ecobeirão	4402	12591	200
Coimbra	Oliveira do Hospital	Ecobeirão	7001	22107	235
Guarda	Aguiar da Beira	Ecobeirão	1818	6234	207
Guarda	Gouveia	Ecobeirão	5379	16043	301
Guarda	Seia	Ecobeirão	9091	28058	436
Guarda	Almeida	Águas do Zêzere e Côa	6015	8378	518
Guarda	Celorico da Beira	Águas do Zêzere e Côa	3291	8874	247
Guarda	Figueira de Castelo Rodrigo	Águas do Zêzere e Côa	3005	7115	509
Guarda	Fornos de Algodres	Águas do Zêzere e Côa	1869	5597	131
Guarda	Guarda	Águas do Zêzere e Côa	17805	44633	712

Tabela A.1 (cont.) – Dados relativos à área, população, produção de RU e sistemas de gestão da região Centro (2/2)

Distrito	Concelho	Sistema de Gestão	Produção RU [ton]	População	Área [km ²]
Guarda	Manteigas	Águas do Zêzere e Côa	1410	3811	122
Guarda	Meda	Águas do Zêzere e Côa	3013	6187	286
Guarda	Pinhel	Águas do Zêzere e Côa	4128	10893	485
Guarda	Sabugal	Águas do Zêzere e Côa	5035	14772	823
Guarda	Trancoso	Águas do Zêzere e Côa	22486	10850	362
Castelo Branco	Fundão	Águas do Zêzere e Côa	11134	31560	701
Castelo Branco	Penamacor	Águas do Zêzere e Côa	2140	6573	556
Castelo Branco	Castelo Branco	Raia/Pinhal	22020	56001	1440
Castelo Branco	Idanha-a-Nova	Raia/Pinhal	4762	11547	1413
Castelo Branco	Oleiros	Raia/Pinhal	1403	6610	470
Castelo Branco	Proença-a-Nova	Raia/Pinhal	2435	9553	395
Castelo Branco	Vila Velha do Ródão	Raia/Pinhal	1338	4029	395
Castelo Branco	Covilhã	Águas do Zêzere e Côa	19238	54658	556
Castelo Branco	Belmonte	Águas do Zêzere e Côa	2536	7602	119
Castelo Branco	Sertã	Raia/Pinhal	3826	16648	447
Castelo Branco	Vila de Rei	VALNOR	869	3331	191
Viseu	Carregal do Sal	Ecobeirão	3956	10382	117
Viseu	Castro D'aire	Ecobeirão	4414	16923	379
Viseu	Mangualde	Ecobeirão	7467	21003	219
Viseu	Mortágua	Ecobeirão	3016	10390	251
Viseu	Nelas	Ecobeirão	5871	14289	126
Viseu	Oliveira de Frades	Ecobeirão	3173	10634	145
Viseu	Penalva do Castelo	Ecobeirão	2184	8995	134
Viseu	Santa Comba Dão	Ecobeirão	4524	12511	112
Viseu	São Pedro do Sul	Ecobeirão	5883	19051	349
Viseu	Sátão	Ecobeirão	3633	13165	202
Viseu	Tondela	Ecobeirão	10367	31144	371
Viseu	Vila Nova de Paiva	Ecobeirão	1520	6169	175
Viseu	Viseu	Ecobeirão	37935	94590	507
Viseu	Vouzela	Ecobeirão	3139	11917	194
Leiria	Batalha	VALORLIS	6500	15167	103
Leiria	Leiria	VALORLIS	51000	121536	568
Leiria	Marinha Grande	VALORLIS	20512	34429	185
Leiria	Pombal	VALORLIS	16013	56907	626
Leiria	Porto de mós	VALORLIS	8403	24365	260
Leiria	Alvaiázere	ERSUC	1723	8421	160
Leiria	Ansião	ERSUC	3502	13739	176
Leiria	Castanheira de Pêra	ERSUC	1000	3700	67
Leiria	Figueiró dos Vinhos	ERSUC	1762	7319	174
Leiria	Pedrogão Grande	ERSUC	1143	4400	129
Santarém	Mação	VALNOR	2466	8334	400
Total			699935	1791773	23725

Anexo B – Quantidades da produção de RINP, RINP para incineração e distribuição pelos municípios, no ano de 2006

Tabela B.1 - Quantidades da produção de RINP, RINP para incineração e distribuição pelos municípios. (1/2)

Distrito	Concelho	Aterro	Quantidade total de RINP [ton]	Quantidade de RINP para incineração [ton]
Aveiro	Águeda	Resilei	51922	13194
Aveiro	Albergaria-a-Velha	Resilei	38434	9766
Aveiro	Anadia	Resilei	66431	16880
Aveiro	Aveiro	Resilei	158716	40330
Aveiro	Estarreja	Resilei	44365	11273
Aveiro	Ílhavo	Resilei	29816	7576
Aveiro	Mealhada	Resilei	22913	5822
Aveiro	Murtosa	Resilei	5829	1481
Aveiro	Oliveira do Bairro	Resilei	32846	8346
Aveiro	Ovar	Resilei	46450	11803
Aveiro	Sever do Vouga	Resilei	4355	1107
Aveiro	Vagos	Resilei	10699	2719
Coimbra	Arganil	Castelo Branco	15105	3838
Coimbra	Cantanhede	Resilei	41222	10475
Coimbra	Coimbra	Resilei	42389	10771
Coimbra	Condeixa-a-Nova	Resilei	41474	10539
Coimbra	Figueira da Foz	Resilei	495791	125982
Coimbra	Góis	Castelo Branco	1177	299
Coimbra	Lousã	Resilei	16771	4262
Coimbra	Mira	Resilei	2243	570
Coimbra	Miranda do Corvo	Resilei	1938	492
Coimbra	Montemor-o-Velho	Resilei	10939	2780
Coimbra	Pampilhosa da Serra	Castelo Branco	8260	2099
Coimbra	Penacova	Resilei	1532	389
Coimbra	Penela	Resilei	14933	3794
Coimbra	Soure	Resilei	3641	925
Coimbra	Vila Nova de Poiares	Resilei	28055	7129
Coimbra	Tábua	Castelo Branco	5065	1287
Coimbra	Oliveira do Hospital	Castelo Branco	51188	13007
Guarda	Aguiar da Beira	Castelo Branco	127	32
Guarda	Gouveia	Castelo Branco	726	184
Guarda	Seia	Castelo Branco	2906	738
Guarda	Almeida	Castelo Branco	376	96
Guarda	Celorico da Beira	Castelo Branco	787	200
Guarda	Figueira de Castelo Rodrigo	Castelo Branco	525	134
Guarda	Fornos de Algodres	Castelo Branco	905	230
Guarda	Guarda	Castelo Branco	60395	15346

Tabela B.1 (cont.) - Quantidades da produção de RINP, RINP para incineração e distribuição pelos municípios. (2/2)

Distrito	Concelho	Aterro	Quantidade total de RINP [ton]	Quantidade de RINP para incineração [ton]
Guarda	Manteigas	Castelo Branco	150	38
Guarda	Meda	Castelo Branco	624	159
Guarda	Pinhel	Castelo Branco	4769	1212
Guarda	Sabugal	Castelo Branco	148	38
Guarda	Trancoso	Castelo Branco	307	78
Castelo Branco	Fundão	Castelo Branco	2514	639
Castelo Branco	Penamacor	Castelo Branco	75	19
Castelo Branco	Castelo Branco	Castelo Branco	12945	3289
Castelo Branco	Idanha-a-Nova	Castelo Branco	838	213
Castelo Branco	Oleiros	Castelo Branco	16240	4127
Castelo Branco	Proença-a-Nova	Castelo Branco	18704	4753
Castelo Branco	Vila Velha do Ródão	Castelo Branco	36072	9166
Castelo Branco	Covilhã	Castelo Branco	11076	2814
Castelo Branco	Belmonte	Castelo Branco	223	57
Castelo Branco	Sertã	Castelo Branco	92049	23390
Castelo Branco	Vila de Rei	Castelo Branco	14115	3587
Viseu	Carregal do Sal	Resilei	5345	1358
Viseu	Castro D'aire	Resilei	27363	6953
Viseu	Mangualde	Resilei	188823	47980
Viseu	Mortágua	Resilei	7327	1862
Viseu	Nelas	Resilei	9082	2308
Viseu	Oliveira de Frades	Resilei	13301	3380
Viseu	Penalva do Castelo	Resilei	16874	4288
Viseu	Santa Comba Dão	Resilei	3309	841
Viseu	São Pedro do Sul	Resilei	17822	4529
Viseu	Sátão	Resilei	12719	3232
Viseu	Tondela	Resilei	24376	6194
Viseu	Viseu	Resilei	67363	17117
Viseu	Vouzela	Resilei	14488	3681
Leiria	Batalha	Resilei	19450	4942
Leiria	Leiria	Resilei	148717	37789
Leiria	Marinha Grande	Resilei	67573	17171
Leiria	Pombal	Resilei	289548	73575
Leiria	Porto de mós	Resilei	39025	9916
Leiria	Alvaiázere	Resilei	1573	400
Leiria	Ansião	Resilei	26500	6734
Leiria	Castanheira de Pêra	Resilei	62	16
Leiria	Figueiró dos Vinhos	Resilei	400	102
Leiria	Pedrogão Grande	Resilei	8474	2153
TOTAL		2581608	655995	655995

Anexo C – Tipologia de RINP com interesse para valorização energética

Tabela C.1 - Tipologia de RINP com interesse para valorização energética. (1/2)

Código LER	Designação
03	Resíduos do processamento de madeira e fabricação de papel, cartão, pasta, painéis e mobiliário
0301	Resíduos do processamento de madeiras e produção de painéis e mobiliário
030101	Resíduos do descasque de madeiras e cortiça
030105	Serradura, aparas, fitas de aplainamento, madeira, aglomerados e folheados, não abrangidos em 030104
0303	Resíduos da produção e da transformação de pasta, papel e cartão
030301	Materiais lenhosos
030308	Resíduos da triagem de papel e cartão destinados a reciclagem
04	Resíduos das indústrias do couro e produtos do couro e têxtil
0402	Resíduos da indústria têxtil
040221	Resíduos de fibras têxteis não processadas
040222	Resíduos de fibras têxteis processadas
07	Resíduos de processos químicos orgânicos
0702	Resíduos do Fabrico, Formulação, Distribuição e Utilização (FFDU) de plásticos, borracha e fibras sintéticas
070213	Resíduos de plásticos
12	Resíduos de moldagem e do tratamento físico e mecânico de superfície de metais e plásticos
1201	Resíduos de moldagem e do tratamento físico e mecânico de superfície de metais e plásticos
120105	Aparas de matérias plásticas
120109	Emulsões e soluções de maquinaria, sem halogéneos
13	Óleos usados e resíduos de combustíveis líquidos (excepto óleos alimentares e capítulos 05,12 e 19)
1307	Resíduos de combustíveis líquidos
130701	Fuelóleo e gasóleo
130703	Outros combustíveis (incluindo misturas)
15	Resíduos de embalagens; absorventes, panos de limpeza, materiais filtrantes e vestuário de protecção não anteriormente especificado
1501	Embalagens (incluindo resíduos urbanos e equiparados de embalagens, recolhidos separadamente)
150101	Embalagens de papel e cartão
150102	Embalagens de plástico
150103	Embalagens de madeira

Tabela C.1 (cont.) - Tipologia de RINP com interesse para valorização energética. (2/2)

Código LER	Designação
16	Resíduos não especificados neste catálogo
1601	Veículos em fim de vida de diferentes meios de transporte (incluindo máquinas todo-o-terreno) e resíduos do desmantelamento de veículos em fim de vida e da manutenção de veículos (excepto 13,14,1606 e 1608)
160103	Pneus usados
19	Resíduos de instalações de gestão de resíduos, de ETAR e da preparação de água para consumo humano e água para consumo industrial
1912	Resíduos do tratamento mecânico de resíduos (por exemplo, triagem, trituração, compactação, peletização), não anteriormente especificadas
191204	Plástico e borracha
20	Resíduos urbanos e equiparados (resíduos domésticos, do comércio, indústria e serviços) incluindo as fracções recolhidas selectivamente
2001	Fracções recolhidas selectivamente (excepto 1501)
200101	Papel e cartão
200111	Têxteis
200138	Madeira não abrangida em 200137
200139	Plástico

Anexo D – Zona industrial da Pedrulha

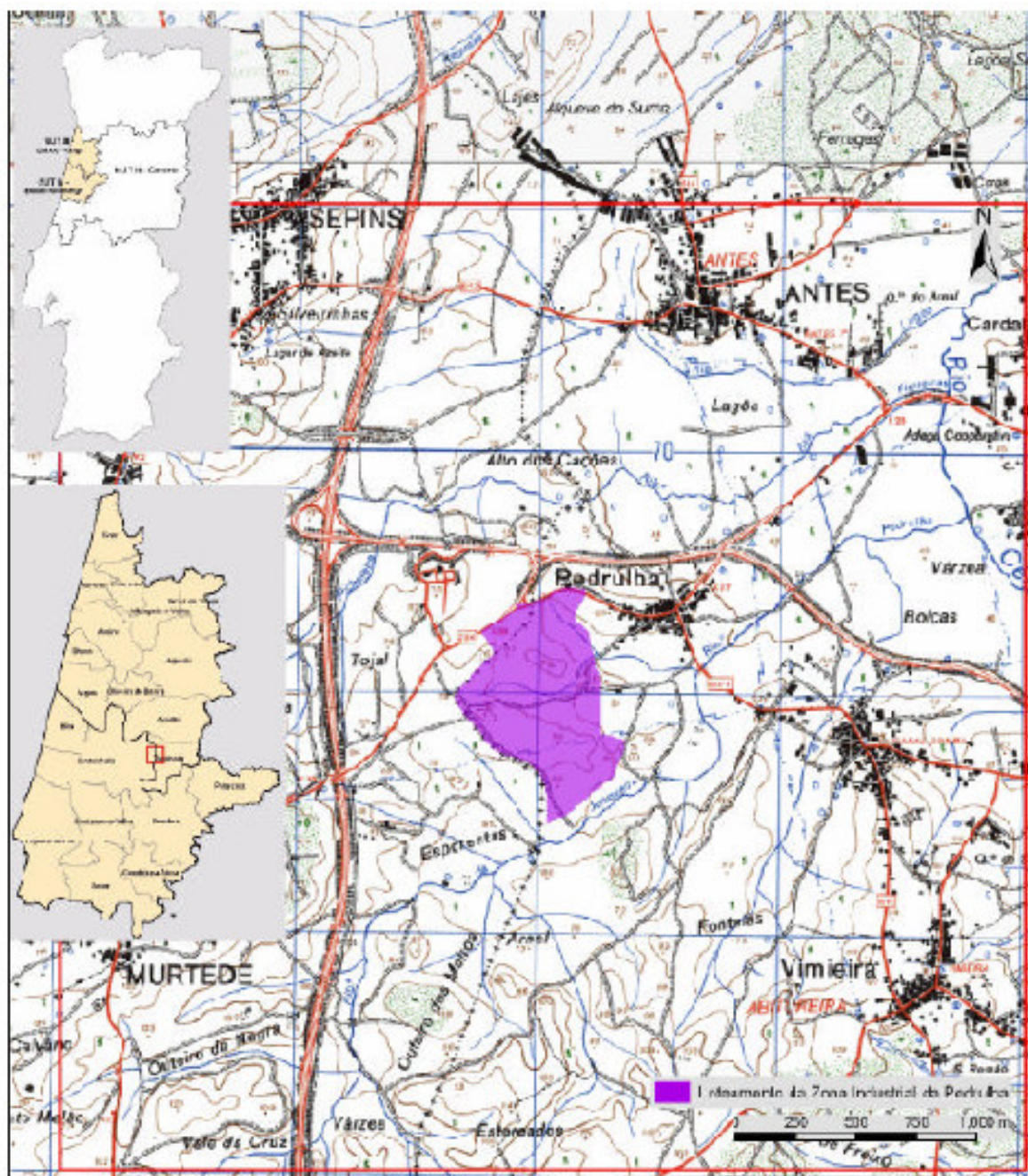


Figura D.1 - Enquadramento territorial do loteamento da zona industrial da Pedrulha (fonte: EIA, Resumo não técnico, IDAD, 2005)

Anexo E – Dados sobre transporte de resíduos diferenciados da ERSUC

Tabela E.1 - Dados sobre a distância necessária percorrer para recolher uma tonelada de cada componente de resíduos nos municípios pertencentes à ERSUC. (fonte: www.ERSUC.pt)

Concelhos	d _{rj} [km/ton]		
	Vidro	Papel	Embalagens
Águeda	17	50	92
Albergaria-a-Velha	16	52	111
Alvaiázere	31	118	258
Anadia	12	49	116
Ansião	31	76	195
Arganil	34	137	294
Aveiro	7	19	50
Cantanhede	21	96	191
Castanheira da pêra	34	105	231
Coimbra	11	46	92
Condeixa-a-Nova	13	40	105
Estarreja	12	39	65
Figueira da Foz	17	63	151
Figueiró dos vinhos	34	73	211
Góis	34	119	240
Ílhavo	11	39	82
Lousã	19	81	184
Mealhada	15	62	154
Mira	14	83	164
Miranda do Corvo	23	85	170
Montemor-o-Velho	17	60	122
Murtosa	15	119	196
Oliveira do Bairro	11	81	187
Ovar	17	74	191
Pampilhosa da serra	55	188	461
Pedrógão grande	34	134	276
Penacova	27	104	190
Penela	27	84	199
Sever de Vouga	19	106	259
Soure	20	47	126
Vagos	15	78	127
Vila Nova de Poiares	24	76	196

Anexo F – Distribuição das unidades de compostagem municipais nos municípios

Tabela F.1 - Distribuição de unidades de compostagem municipais de acordo com a produção de resíduos orgânicos (1/1)

Distrito	Concelho	Resíduos orgânicos [ton]	Unidade de compostagem
Aveiro	Águeda	2815	Águeda ¹
Aveiro	Albergaria-a-Velha	1275	Albergaria ¹
Aveiro	Anadia	1702	Anadia ²
Aveiro	Aveiro	6842	Aveiro ²
Aveiro	Estarreja	1548	Estarreja ¹
Aveiro	Ílhavo	3834	Ílhavo ²
Aveiro	Mealhada	1262	Anadia ²
Aveiro	Murtosa	856	Estarreja ¹
Aveiro	Oliveira do Bairro	1358	Anadia ²
Aveiro	Sever do Vouga	521	Albergaria ¹
Aveiro	Vagos	1308	Ílhavo ²
Coimbra	Arganil	700	Góis ¹
Coimbra	Cantanhede	1960	Cantanhede ¹
Coimbra	Coimbra	11367	Coimbra (2 unidades) ²
Coimbra	Condeixa-a-Nova	1006	Condeixa-a-Nova ¹
Coimbra	Figueira da Foz	5712	Figueira da foz ²
Coimbra	Góis	266	Góis ¹
Coimbra	Lousã	1022	Góis ¹
Coimbra	Mira	1088	Cantanhede ¹
Coimbra	Miranda do Corvo	792	Vila nova de Poiares ¹
Coimbra	Montemor-o-Velho	1491	Condeixa-a-Nova ¹
Coimbra	Pampilhosa da Serra	287	Góis ¹
Coimbra	Penacova	711	Vila nova de Poiares ¹
Coimbra	Penela	323	Vila nova de Poiares ¹
Coimbra	Soure	1123	Condeixa-a-Nova ¹
Coimbra	Vila Nova de Poiares	457	Vila nova de Poiares ¹
Coimbra	Tábua	770	Oliveira do hospital ¹
Coimbra	Oliveira do Hospital	1225	Oliveira do hospital ¹
Guarda	Aguiar da Beira	318	Trancoso ²
Guarda	Gouveia	941	Seia ¹
Guarda	Seia	1591	Seia ¹
Guarda	Almeida	1053	Pinhel ¹
Guarda	Celorico da Beira	576	Trancoso ²

Nota: município¹=unidade com capacidade de 2500 ton.ano⁻¹; município²= unidade com capacidade 5000 ton.ano⁻¹

Tabela F.1 (cont.) - Distribuição de unidades de compostagem municipais de acordo com a produção de resíduos orgânicos (2/2)

Distrito	Concelho	Resíduos Orgânicos [ton]	Unidade de compostagem
Guarda	Fornos de Algodres	327	Trancoso ²
Guarda	Guarda	3116	Guarda ²
Guarda	Manteigas	247	Seia ¹
Guarda	Pinhel	722	Pinhel ¹
Guarda	Sabugal	881	Guarda ²
Guarda	Trancoso	3935	Trancoso ²
Castelo Branco	Fundão	1948	Fundão ¹
Castelo Branco	Penamacor	375	Fundão ¹
Castelo Branco	Castelo Branco	3854	Castelo branco ²
Castelo Branco	Idanha-a-Nova	833	Castelo branco ²
Castelo Branco	Oleiros	246	Proença-a-Nova ¹
Castelo Branco	Proença-a-Nova	426	Proença-a-Nova ¹
Castelo Branco	Covilhã	3367	Covilhã ²
Castelo Branco	Belmonte	444	Covilhã ²
Castelo Branco	Sertã	670	Proença-a-Nova ¹
Viseu	Carregal do Sal	692	Mangualde ¹
Viseu	Mangualde	1307	Mangualde ¹
Viseu	Mortágua	528	Tondela ¹
Viseu	Nelas	1027	Mangualde ¹
Viseu	Oliveira de Frades	555	Vouzela ¹
Viseu	Penalva do Castelo	382	Penalva do castelo ¹
Viseu	Santa Comba Dão	792	Tondela ¹
Viseu	Sátão	636	Penalva do castelo ¹
Viseu	Tondela	1814	Tondela ¹
Viseu	Viseu	6639	Viseu ²
Viseu	Vouzela	549	Vouzela ¹
Leiria	Batalha	1138	Marinha grande ²
Leiria	Leiria	8925	Leiria (2 unidades) ²
Leiria	Marinha Grande	3590	Marinha grande ²
Leiria	Pombal	2802	Pombal ¹
Leiria	Alvaiázere	301	Ansião ¹
Leiria	Ansião	613	Ansião ¹
Leiria	Castanheira de Pêra	175	Ansião ¹
Leiria	Figueiró dos Vinhos	308	Ansião ¹
Leiria	Pedrógão Grande	200	Ansião ¹

Nota: município¹=unidade com capacidade de 2500 ton.ano⁻¹; município²= unidade com capacidade 5000 ton.ano⁻¹

Anexo G – Redes obtidas para os diferentes cenários

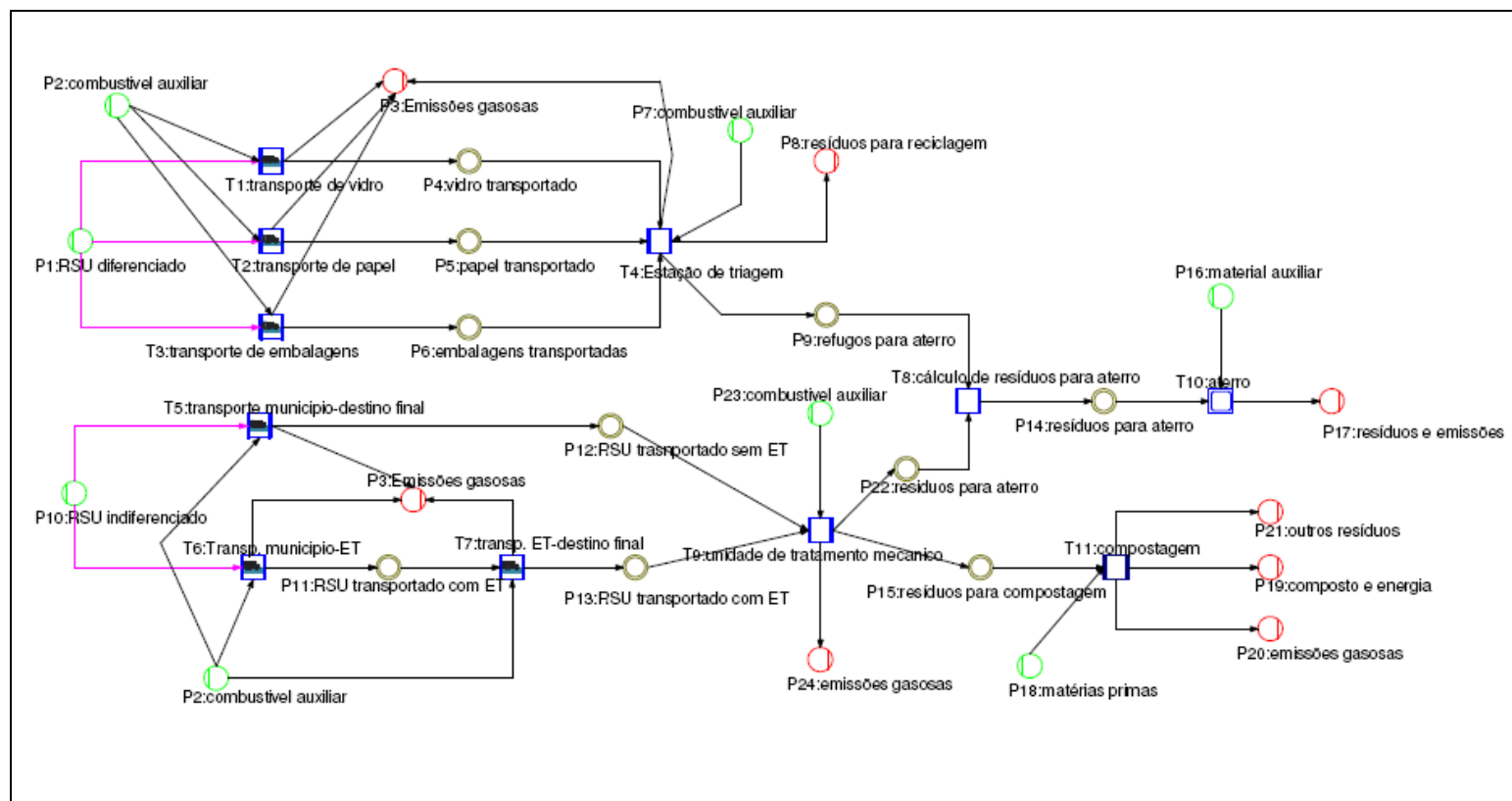


Figura G.1 - Rede obtida para o cenário 1

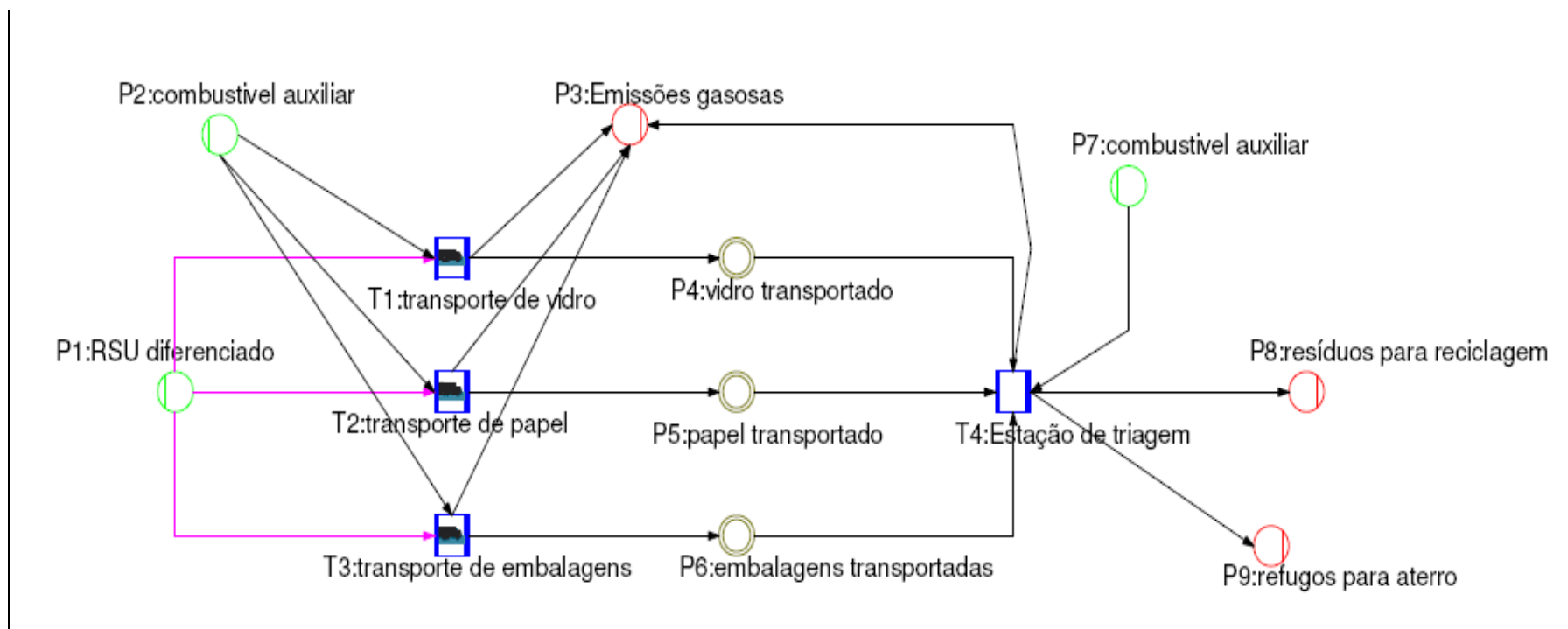


Figura G.2 – Rede obtida para os resíduos diferenciados, cenário 2

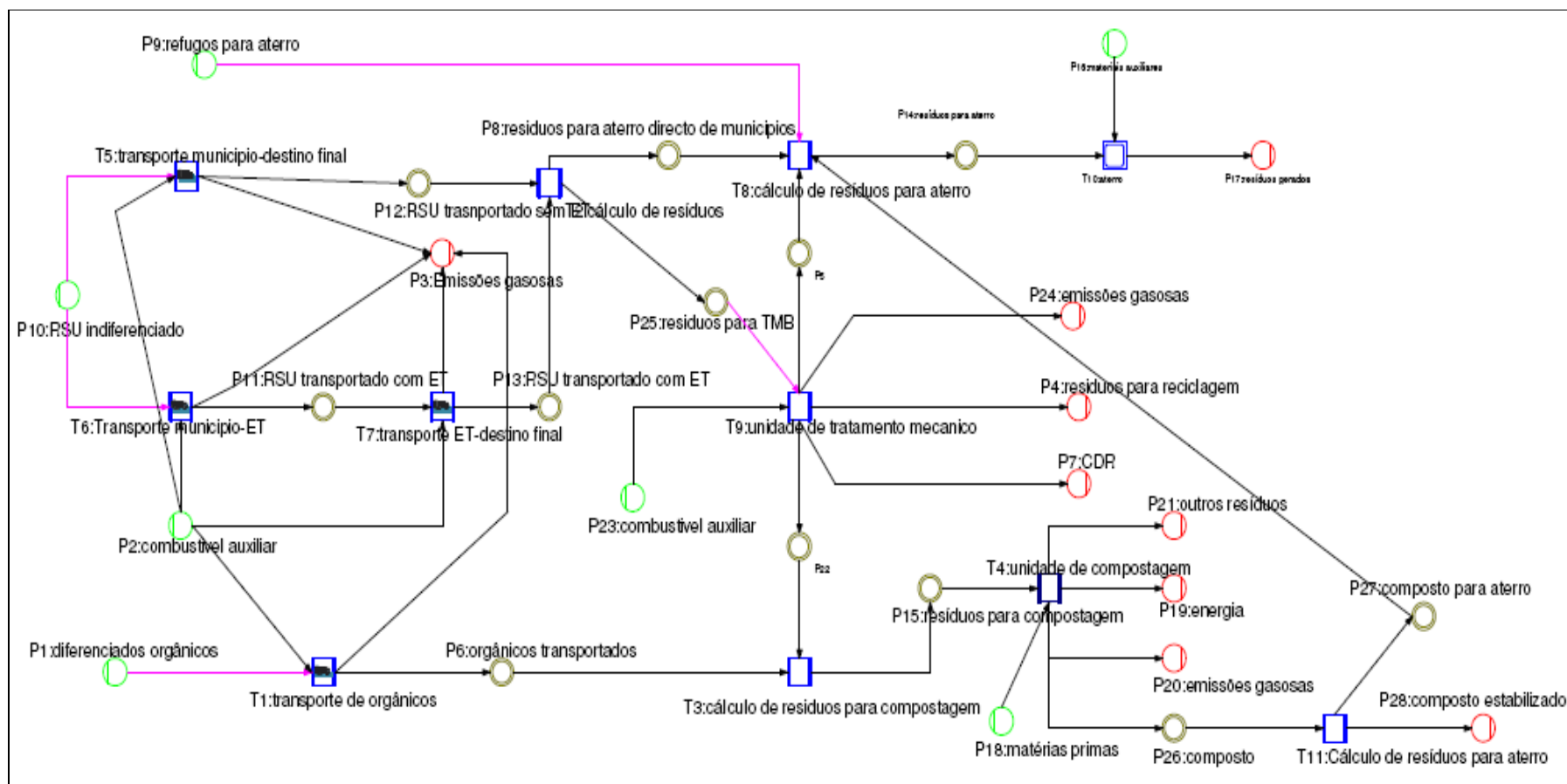


Figura G.3 – Rede obtida para os resíduos indiferenciados, cenário 2

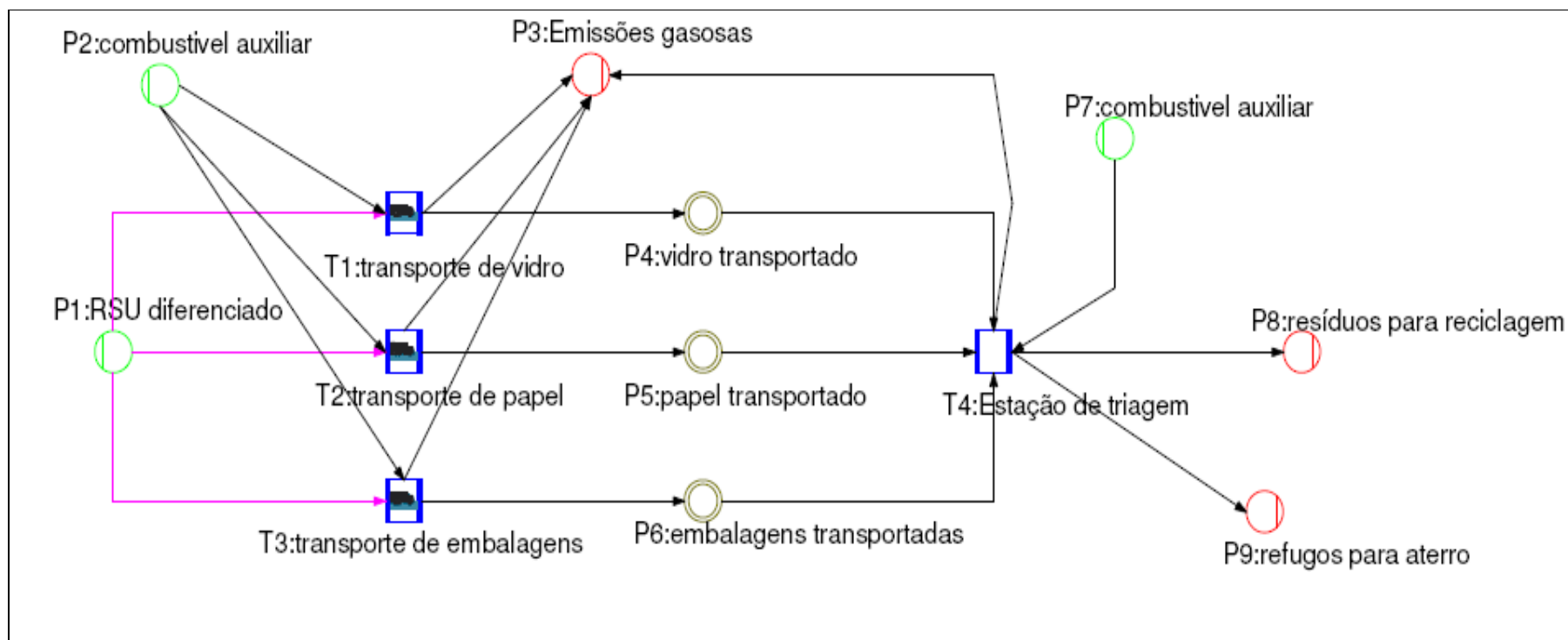


Figura G.4 - Rede obtida para os resíduos diferenciados, cenário 3

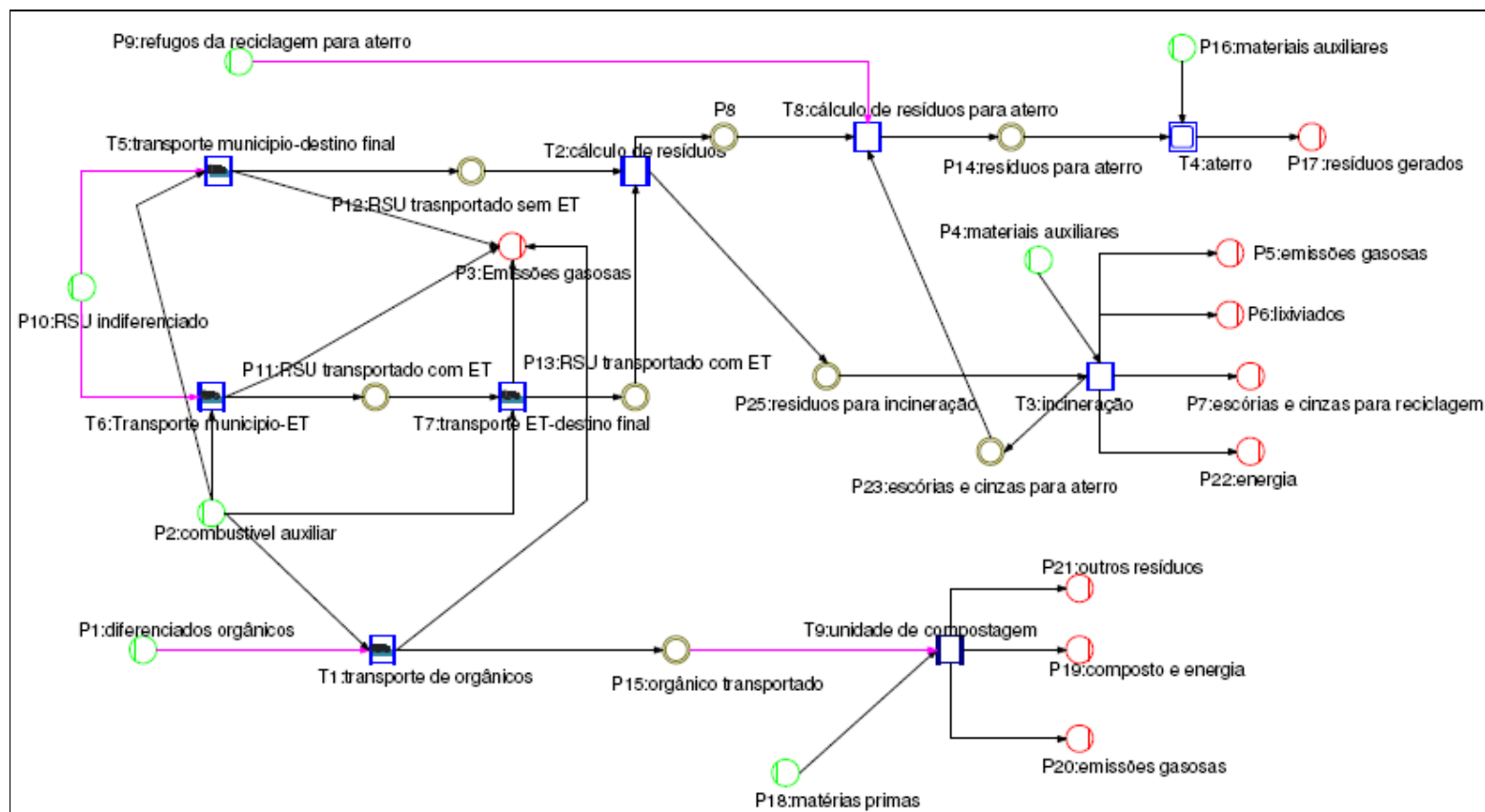


Figura G.5 - Rede obtida para os resíduos indiferenciados, cenário 3

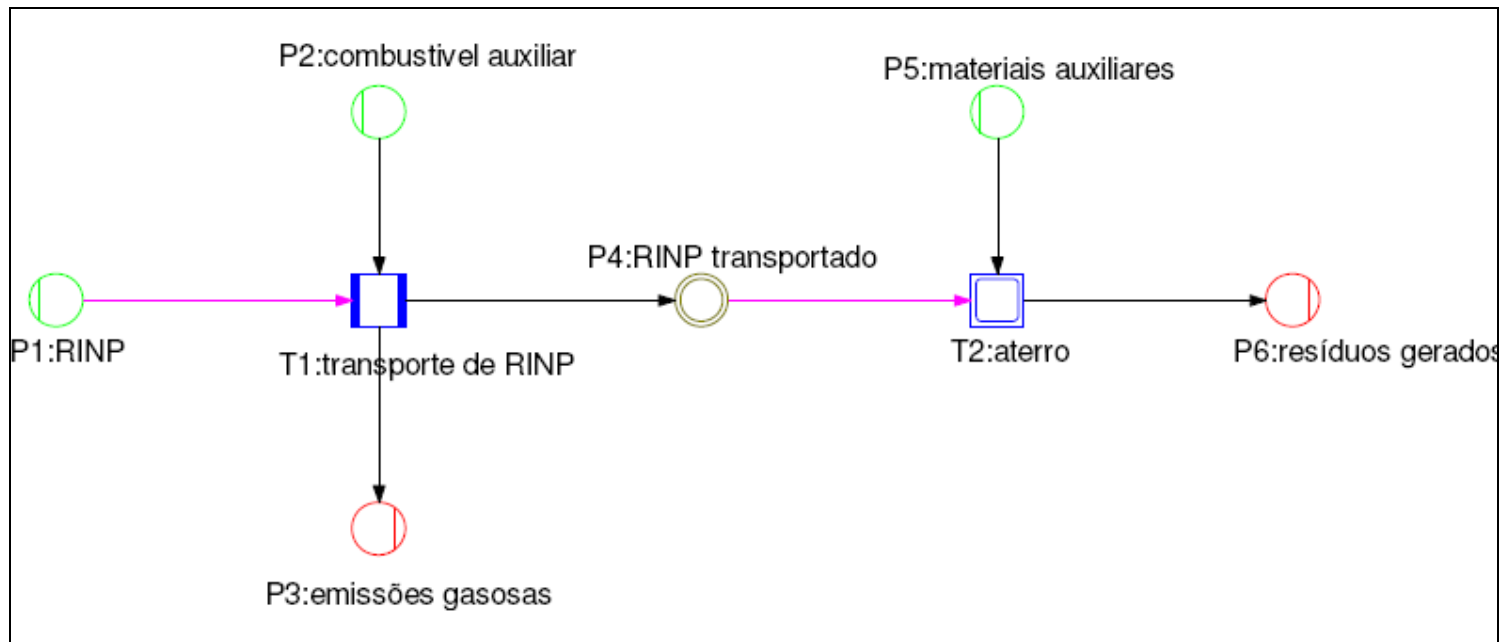


Figura G.6 - Rede obtida para os resíduos industriais não perigosos, cenário #1

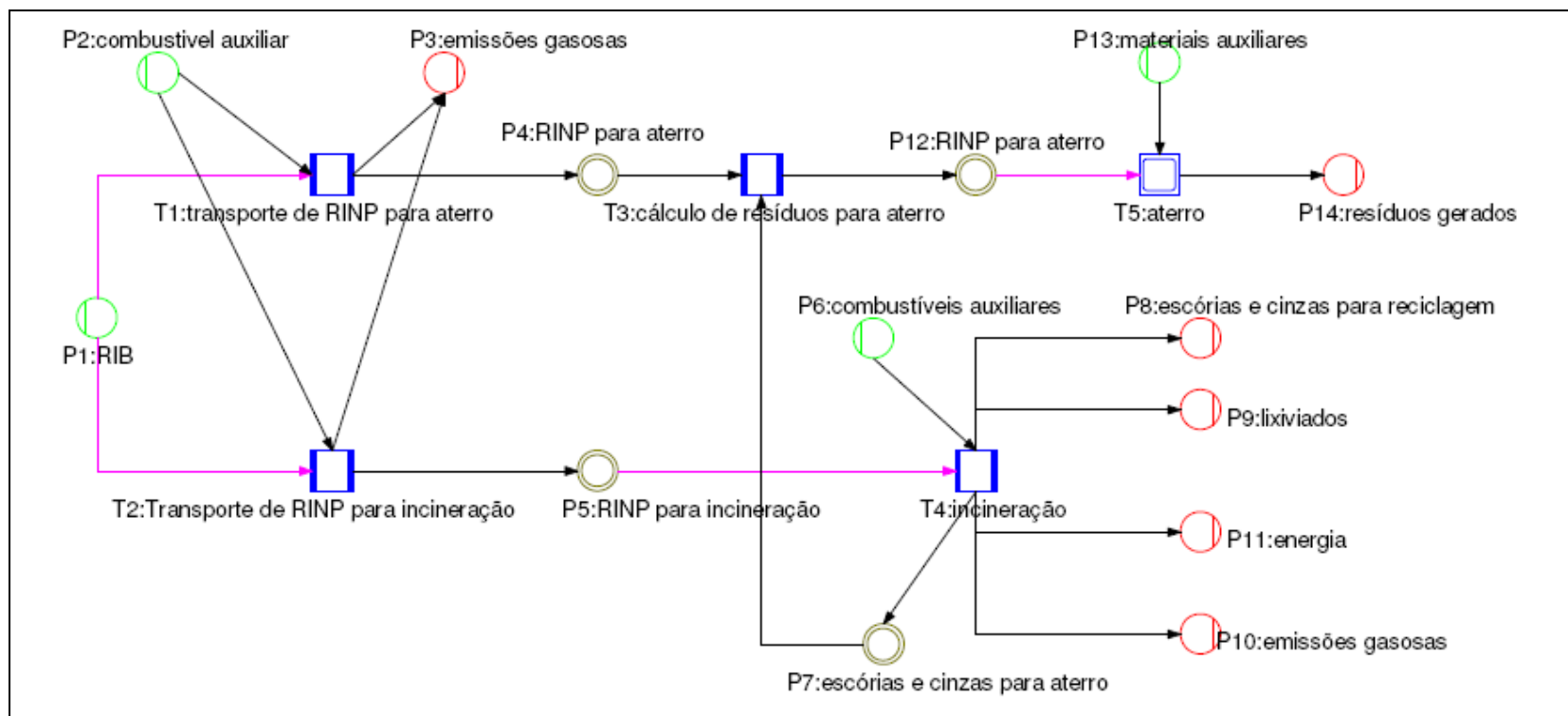


Figura G.7 - Rede obtida para os resíduos industriais não perigosos, cenário #2

Anexo H – Toxicidade humana – substâncias presentes em cada cenário

Tabela H.1 – Substâncias presentes em cada cenário para a categoria de impacto ambiental em cada cenário

Toxicidade Humana	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário #1	Cenário #2
NH ₄ ⁺	2,51E-01	7,00E-02	2,80E-02	1,01E+00	7,58E-01
C ₆ H ₆	1,88E+00	1,64E+00	1,46E+00	1,85E+01	8,81E+00
Cd	3,20E-02	6,46E-02	8,50E+00	1,16E-01	1,71E+01
CO	1,85E+00	9,60E-01	1,70E+00	9,34E+00	8,53E+00
Pb	9,19E-03	4,81E-03	6,94E+00	4,80E-03	1,39E+01
Hg	2,73E-03	7,53E-04	4,25E+00	1,09E-02	8,51E+00
NO ₃ ⁻	3,33E-03	1,55E-03	6,94E-03	1,15E-02	8,58E-03
SO ₂	6,76E+01	2,76E+01	5,15E+01	2,74E+02	2,92E+02
Cu	4,78E-11	1,33E-11	1,78E-02	1,92E-10	3,57E-02
Sn	0,00E+00	0,00E+00	3,01E-05	0,00E+00	6,02E-02
Zn	6,04E-11	1,68E-11	1,16E-05	2,44E-07	2,33E+01
H ₂ S	5,15E+00	1,40E+00	5,46E-01	2,07E+01	1,55E+01
As	1,39E-02	4,04E-03	3,71E-03	5,58E-02	4,60E-02
Cr	1,10E-02	3,38E-03	9,99E-02	4,41E-02	2,30E-01
Co	0,00E+00	0,00E+00	2,11E-02	0,00E+00	4,25E-02
Mn	0,00E+00	0,00E+00	2,16E-01	0,00E+00	4,33E-01
Ni	9,82E-01	2,16E+00	2,82E+00	3,78E+00	7,10E+00
V	0,00E+00	0,00E+00	2,16E-02	0,00E+00	4,20E-02
NO _x	1,25E+02	1,34E+02	3,69E+02	6,38E+02	1,11E+03
C ₆ H ₅ Cl	5,05E-11	1,41E-11	4,56E-05	2,03E-10	9,88E-05
Clorofenóis	5,85E-09	1,63E-09	5,39E-03	2,35E-08	1,13E-02
PCB	1,48E-02	4,39E-03	3,03E-03	6,35E-02	5,21E-02
C ₂₀ H ₁₂	1,36E-03	7,55E-04	6,80E-04	7,14E-03	5,27E-03
C ₁₀ H ₈	1,86E-09	5,19E-10	1,98E-10	7,49E-09	5,63E-09
C ₁₄ H ₁₀	9,04E-11	0,00E+00	0,00E+00	3,62E-10	0,00E+00
PO ₄ ³⁻	2,07E-04	5,75E-05	2,21E-05	8,28E-04	6,23E-04